

## Sähkömoottoreiden koestuskentän asennustyöt, mittaukset ja käyttöönotto

Esko Törmäkangas

Sähkötekniikan opinnäytetyö  
Sähkövoimatekniikka  
Insinööri (AMK)

KEMI 2014

## ALKUSANAT

Haluan kiittää ABB Oy:tä mahdollisuudesta tehdä tämä monipuolinen ja opettavainen päättötyö. Kiitokset Oulun korjaamon palvelupäällikkö Kalle Rantalalle, joka toimi tämän työn tilaajana sekä auttoi monin tavoin työn etenemistä. Isot kiitokset kuuluvat myös työssä tukeneelle ja opastaneelle sähkötöiden johtaja Kalevi Holapalle sekä taa-juusmuuttajien kanssa minua opastaneelle Toni Åhlgrenille. Suuret kiitokset myös koko Oulun korjaamon asentajatyhmälle, jolta olen saanut neuvoja, tietoa ja tukea aina tarvittessani.

Oppilaitoksen puolelta haluan kiittää työni valvojina toimineita koulutussuuntavastavamme Aila Petäjäjärveä sekä lehtori Jaakko Ettoa.

Suurin kiitos opintojen ja tämän päättötyön valmistumisesta kuuluu vaimolleni Amanii-talle sekä lapsilleni, jotka ovat ymmärtäneet ja tukeneet minua lähes kaiken vapaa-ajan vieneessä opiskelussa.

Oulussa 25.3.2014

Esko Törmäkangas

## TIIVISTELMÄ

LAPIN AMMATTIKORKEAKOULU, Teollisuuden ja luonnonvarojen osaamisala

Koulutusohjelma:	Sähkövoimatekniikan koulutusohjelma
Opinnäytetyön tekijä:	Esko Törmäkangas
Opinnäytetyön nimi:	Sähkömoottoreiden koestuskentän asennustyöt, mittaukset ja käyttöönotto
Sivuja (joista liitesivuja):	73 (8)
Päiväys:	25.3.2014
Opinnäytetyön ohjaajat:	DI Jaakko Etto Lapin AMK Ins. Aila Petäjäjärvi Lapin AMK Kalle Rantala ABB Oy
<p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli ABB Oy:n Oulun Service yksikössä uudistettavan sähkömoottoreiden koestuskentän toteuttaminen tehtyjen suunnitelmien pohjalta. Käytännön tehtävinä oli aikatauluttaa ja osallistua koestuskentän asennuksiin, toteuttaa tarvittavat logiikkaohjelmistot, tehdä käyttöönotto, laatia käyttöohjeet sekä huoltosuunnitelma. Lisäksi tuli kouluttaa käyttäjät toteutetulle laitteistolle.</p> <p>Työssä tutustuttiin koestuskentässä tehtäviin moottoreiden mittauksiin, käytettyyn ja uudistettavaan laitteistoon sekä vaatimuksiin ja standardeihin näiden taustalla. Työssä tutustuttiin myös Modbus-RTU-kenttäväylään, AC500-logiikkaan ja sen ohjelmointiin sekä koko järjestelmän käyttöönottoon liittyviin tarkastuksiin ja mittauksiin.</p> <p>Koestuskentän toteutusvaiheessa laadittiin aikataulu ja hankittiin tarvittavat materiaalit. Asennustöiden yhteydessä suoritettiin jatkuvaa aistienvaraista tarkastusta suoritetuille asennuksille. Käyttöönotossa suoritettiin tarvittavat mittaukset ja testaukset halutun toiminnallisuuden ja sähköturvallisuuden varmistamiseksi. AC500-logiikan ohjelmiston toteutus suoritettiin vaatimusten mukaisesti ja testattiin. Laitteistolle laadittiin käyttöohjeet sekä huoltosuunnitelma. Loppukäyttäjille pidettiin laitteistoon ja sen turvalliseen käyttöön perehdyttävä koulutus.</p>	
Asiasanat: käyttöönotto, sähkömoottorit, ohjelmoitavat logiikat	

## ABSTRACT

## LAPLAND UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES, Technology

Degree programme:	Electrical Engineering
Author(s):	Esko Törmäkangas
Thesis title:	Installation, Measurements and Commissioning of Electric Motor Test Field
Pages (of which appendixes):	73 (8)
Date:	25 March 2014
Thesis instructor(s):	Jaakko Etto, MSc (Tech.) Aila Petäjäjärvi, BSc (Tech.) Kalle Rantala, ABB Co.
<p>The objective of this thesis was to implement the updated testing field for electrical motors for ABB Corporation Service Unit in Oulu. Practical tasks were to schedule the implementation project, to participate in the testing field installation, to carry out the necessary logic software, do the commissioning and finally to draw the instructions manual and the maintenance plan. In addition, the users should be trained for the accomplished equipment.</p> <p>In the study, the measurements of the motors to be taken in the testing field, the equipment existing and to be modernized as well as the requirements and standards relevant to the matter were gotten familiar with. The study also examined Modbus RTU field bus, the AC500 PLC and the programming of the entire system as well as the inspections and measurements done in commissioning phase.</p> <p>At the beginning of the implementation phase, the schedule was drawn up and the necessary materials were acquired. During the installation, a continuous control of assembly through the senses was carried out. During the commissioning, the necessary measurements and tests to ensure the desired functionality and electrical safety were performed. Software implementation of the AC500 logic was performed and tested in accordance with the requirements. The instructions manual and the maintenance plan for the apparatus were drawn up. Training in the use of equipment and its safe operation was organized for the end users.</p>	
Keywords: commissioning, electric motors, programmable logic controllers	

# SISÄLLYS

ALKUSANAT .....	2
TIIVISTELMÄ .....	3
ABSTRACT .....	4
SISÄLLYS .....	5
KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET .....	8
1 JOHDANTO .....	9
1.1 ABB Oy Suomessa .....	9
1.2 ABB Service .....	10
1.3 Koestuskentän uusiminen .....	11
2 SÄHKÖTEKNISET TILAT JA LAITTEISTOT .....	13
2.1 Moottoreiden huoltoprosessi .....	13
2.2 Moottoreiden koestusmittaukset .....	14
2.2.1 Eristysresistanssimittaus .....	16
2.2.2 Käämiresistanssin mittaus .....	16
2.2.3 Jännitteenkestokoestus .....	16
2.2.4 Silmämääräinen tarkastus .....	17
2.2.5 Tyhjäkäyntikoestus ja värähtelynopeuden tehollisarvon mittaus .....	17
2.2.6 Kuormituskoete .....	17
2.2.7 Syöksyaaltotesti .....	18
2.2.8 Kehäkoete .....	18
2.3 Sähkökeskukset .....	18
2.4 Sähkölaitteiden testauspaikka .....	19
3 MITTAUKSET JA TARKASTUKSET .....	21
3.1 Aistinvaraiset tarkastukset .....	22
3.2 Testaukset .....	23
3.2.1 Eristysresistanssi .....	23
3.2.2 Suojajohtimen jatkuvuus .....	24
3.2.3 SELV- ja PELV-piirien tai sähköisesti erotettujen piirien erotus .....	25
3.2.4 Lattia ja seinäpintojen eristysresistanssi .....	25
3.2.5 Sähkölämmityskaapeleiden ja kelmujen mittaukset .....	25
3.2.6 Syötön automaattisen poiskytkennän toiminta .....	25
3.2.7 Vikavirtasuojien toiminnan testaus .....	27

3.2.8	Napaisuuden testaus .....	27
3.2.9	Kiertosuunnan tarkistus.....	28
3.2.10	Toiminta- ja käyttötestit .....	28
3.2.11	Jännitteenalenema .....	28
3.3	Käyttöönottotarkastuksen dokumentointi.....	28
3.4	Varmennustarkastukset .....	29
4	KOESTUSKENTÄN RAKENTAMINEN JA AIKATAULUTUS .....	30
4.1	Koestuskentän rakenne .....	31
4.2	Aikataulun laatiminen .....	33
4.3	Määrälaskenta ja tarvikelaukset .....	34
4.4	Rakentamisen vaiheistus .....	34
4.4.1	Valmistelevat asennukset vanhan kentän rinnalla.....	35
4.4.2	Valmistelevat asennukset vanhassa koestuskentässä.....	37
4.4.3	Vanhan koestuskentän purku ja loput asennukset.....	38
4.5	ABB:n AC500 -logiikka ja kenttäväylä .....	39
4.5.1	Kenttäväylä Modbus-RTU .....	40
4.5.2	ABB:n AC500 -logiikka .....	42
4.5.3	Kehitysympäristö ja ohjelmisto.....	44
5	KÄYTTÖÖNOTTO JA TEHDYT TARKASTUKSET .....	48
5.1	Tarkastukset ja mittaukset jännitteettömänä .....	48
5.2	Testaukset ja mittaukset jännitteellisenä .....	49
5.3	Releiden asettelut .....	51
5.4	Turvajärjestelmien testaus .....	53
5.5	Taajuusmuuttajien parametrisointi .....	54
5.6	DC-käytön parametrisointi .....	55
5.7	Muuntajat.....	56
5.8	ABB:n AC500 PCL logiikka ja väylä .....	57
5.9	Kuormitus .....	58
5.10	Käyttöohjeet ja käytönopastus .....	59
5.11	Kunnossapitosuunnitelma ja dokumentaatio .....	60
5.12	Varmennustarkastus.....	60
6	POHDINTA JA YHTEENVETO .....	61
6.1	Omat havainnot .....	61
6.2	Jatkokehityskohteet .....	62
	LÄHTEET .....	64

LIITTEET .....	65
----------------	----

## KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

ABB	Asea Brown Boveri
AC	Vaihtovirta
CFC	Continuous Function Chart
CPU	Central Processing Unit (keskussyksikkö)
DC	Tasavirta
DTC	Direct Torque Control (suora momenttisäätö)
FBD	Function Block Diagram
HMI	Human Machine Interface (käyttöliittymä)
IL	Instruction List
KTMp	Kauppa- ja Teollisuus Ministeriön päätös
LCD	Nestekidenäyttö (Liquid Crystal Display)
LD	Ladder Diagram
PELV	Maasta erotettu pienoisjännitejärjestelmä
PEN	Yhdistetty suojamaa ja nolla
SELV	Maadoitettu pienoisjännitejärjestelmä
SFC	Sequential Function Chart
ST	Structured Text
Tukes	Turvallisuus- ja kemikaalivirasto



## 1 JOHDANTO

Tämä lopputyö tehtiin ABB Service Oulun yksikölle ja on osa toteutettua sähkömoottoreiden koestuskentän uudistusprojektia. Työssä käydään aluksi läpi koestuskentän toiminnot sekä siihen suunniteltu uudistus. Laajemmin työssä käsitellään koestuskentän toteutuksen aikataulutusta, käytännön rakennus- ja asennustöitä sekä käyttöönottoa lopumittauksineen. Lopussa on yhteenveto työstä sekä ajatuksia mahdollisista jatkokehityskohteista.

### 1.1 ABB Oy Suomessa

ABB Oy on monikansallinen sähkövoima- ja automaatioteknologiayhtymä, jonka pääkonttori sijaitsee Sveitsissä Zürichissä. Yhtymän palveluksessa on noin 150 000 henkilöä, joista Suomessa työskentelee noin 6 600. ABB Suomen historia alkaa vuodesta 1889, jolloin Gottfrid Strömberg perusti Helsinkiin yrityksen, joka valmisti tasavirtakoneita sekä tarjosi kiinteistösähköistyspalveluita. Myöhemmin yhtiön nimi muotoutui Oy Strömberg Ab:ksi. 1980 luvulla yhtiö koki useita nimenmuutoksia yritysostojen ja fuusioiden myötä. Vuonna 1988 muotoutui nykyinen ABB kun Sveitsiläinen Brown Boveri yhdisti sähkötekniset liiketoimintansa pari vuotta aikaisemmin Strömbergin ostaneen Ruotsalaisen Asean kanssa. (ABB Oy 2014, hakupäivä 28.2.2014)

ABB:n liiketoiminta jakautuu viiteen ydinliiketoiminta-alueeseen, jotka sisältävät eri teollisuuden aloihin ja tuoteryhmiin keskittyneitä liiketoimintayksiköitä (kuva1). Liiketoimintayksiköitä asiakasrajapinnassa tukevat Service- ja Domestic Sales toiminnot.



Kuva 1. ABB:n organisaatiorakenne

## 1.2 ABB Service

ABB Service-palveluliiketoiminnalla on koko maan kattava toimipisteverkosto yhteensä 25 eri paikkakunnalla. Servicen palvelut perustuvat ABB:n sähkövoima- ja automaatioteknologioihin ja tuotteisiin. Palvelutarjonta kattaa koko alueen aina yksittäisen laitteen kunnossapidosta koko tuotannon sekä toiminnan ylläpitoon. (ABB Oy 2014, hakupäivä 28.2.2014)

Oulun huoltokeskuksessa on vastuualueeltaan laajin kattaaen koko pohjoisen Suomen. Huoltokeskuksen suurin henkilöstömäärä työskentelee moottoreiden huollon ja kunnossapidon parissa. Toiminta on jaettu kahteen osaan. Kenttähuolto huoltaa nimensä mukaisesti moottoreita ja generaattoreita asiakkaan tiloissa. Oulun Konetiellä toimiva korjaamo taas huoltaa ja korjaa sinne toimitettuja moottoreita. Oleellinen osa sähkömoottoreiden huoltoa on niiden sähköisen ja mekaanisen toiminnan varmistaminen ennen asiakkaalle toimittamista.

### 1.3 Koestuskentän uusiminen

Lopputyön aihe liittyikin juuri sähkömoottoreiden koestamiseen. Oulun huoltokeskus on rakennettu vuonna 1983 ja moottoreiden koestuskenttä on pääsääntöisesti peräisin tuolta ajalta. Muutamia pienempiä uudistuksia ja lisäyksiä on toki vuosien varrella kenttään tehty. Moottoreiden koeajoon on kentässä käytetty 0-690V-säätömuuntajaa, josta saatiin noin 200 A:n nimellinen virta. Taajuusmuuttajakäyttönä kentässä palveli jo teknisesti vanhentunut Strömbergin Sami B-sarjan laite. Tasavirtamoottoreiden testaukseen käytössä oli 200 A:n tasasuuntaussilta sekä erillinen 16 A:n magnetointiyksikkö.

Koestuskentän vanhentuneiden laitteiden varaosien saanti ja korjaaminen olivat jo riskitekijä koestuskentän päivittäiselle toiminnalle. Koestuskentälle tarvittiin siis modernisointia sekä käytettävän testikaluston päivityksen että lisättävän automaation muodossa. Projektille asetettiin seuraavia tavoitteita:

- aikaisempaa suurempien moottorikokojen testaamisen mahdollistaminen sisältäen sekä koeajon että kuormituksen
- aikaisempaa laajemman jännitealueen moottoreiden testausmahdollisuuden toteuttaminen nykyaikaisilla taajuusmuuttajilla
- järjestelmän automaatiotason parantaminen tarkoittaen logiikalla tapahtuvaa mittaustulosten esittämistä sekä automaattista kirjaamista SAP:ssa oleviin testiraportteihin
- koestustapahtuman ja -ympäristön turvallisuuden kartoittaminen ja parantaminen.

Koestuskentän uudistustyö oli kokonaisuutena varsin mittava, joten se jaettiin kahteen osaan. Molemmat osat toteutettiin omina lopputöinä, mutta tiiviissä yhteistyössä. Jarmo Seppäsen lopputyössä (Seppänen 2014) keskityttiin koestuskentän uudistuksen tarvekartoitukseen, laitteistoon suunnitteluun ja määrittelyyn sekä sähköisten mitoitus-ten tekoon. Tässä lopputyössä taas keskitytään koestuskentän rakentamiseen ja käyttöönottoon. Rakentaminen sisälsi mekaaniset ja sähköiset asennustyöt sekä tarvittavan logiikkaohjelmiston suunnittelun ja toteutuksen. Käyttöönotto käsitti laitteiston para-

metrisoinnin, testauksen, muutosten hallinnan, käyttöohjeiden laatimisen sekä käyttökoulutuksen.

Työ todettiin niin laajaksi, että mittaustulosten automaattinen kirjaaminen tietojärjestelmiin jätettiin tämän työn ulkopuolelle, sillä tietokantatoiminnot ovat enemmän tietoliikenteen kuin sähkövoimatekniikan aluetta. Teollisuudessa logiikkojen ohjelmointi kuuluu automaatiopuolen vastuualueeseen mutta tässä projektissa se päätettiin sisällyttää osaksi toteutusta sen kokonaistoiminnalle tärkeän roolin vuoksi. Sähkövoimainsiöörille on eduksi hallita logiikkojen toimintaa ja ohjelmoinnin perusteet. Tämä laajentaa kokonaisymmärrystä teollisuuden sähköistyksen tehtäväkentästä. Logiikan ohjelmisto rajattiin kattamaan mitattavien arvojen ja parametrien esittäminen HMI-näytöllä sekä tarvittavien alustustietojen syöttäminen taajuusmuuttajille.

## 2 SÄHKÖTEKNISET TILAT JA LAITTEISTOT

Työn toteutuksen kannalta oli oleellista ymmärtää, millaisen laitteiston rakentamista ja käyttöönottoa ollaan toteuttamassa sekä mitä vaatimuksia eri standardit sille asettavat. Tässä luvussa esitellään koestuskentässä tehtävät mittaukset sekä toteutuksessa käytetyt erilaiset tilakokonaisuudet ja niidessä noudatetut standardit

### 2.1 Moottoreiden huoltoprosessi

Huoltopalvelu kattaa muutkin kuin ABB:n valmistamat moottorit, joten testattavien laitteiden mallikirjo on laaja. Toiminnallisesti suurin osa huollettavista moottoreista on erilaisia kolmivaiheisia oikosulkumoottoreita. Myös tahtikoneita käy toisinaan huollossa, mutta ne ovat teholuokaltaan yleensä niin isoja, ettei niitä pystytä koeajamaan sähköisesti. DC-moottoreita on teollisuudessa edelleen käytössä, joskin vähenevissä määrin, joten niitäkin tulee koestettavaksi viikoittain.

Sähkömoottoreiden saapuessa huollettavaksi tai korjattavaksi ne kirjataan ensiksi tietojärjestelmiin ja luodaan työmääräimet SAP-järjestelmään. Huoltoprosessi käynnistyy koneen purulla ja rikkinäisen moottorin korjauskelpoisuuden arvioinnilla. Käämityksen kunto mitataan eristysvastusmittauksella ja tarvittaessa syöksyaaltokokeella mahdollisten kierros- tai vyyhtioikosulkujen havaitsemiseksi. Oikosulkuvian havaitsee jo silmä­määräisesti konetta avattaessa.

Seuraavaksi on vuorossa staattorin, rungon sekä osien pesu sekä staattorin tyhjiökuivaus. Roottorit tasapainotetaan tarkkuudella, joka on riippuvainen moottorin nimellisnopeudesta. Mahdollisesti kuluneet kilpien laakeripesät korjausholkitetaan.

Jos palaneen moottorin korjaus todetaan kannattavaksi, se käämitään uudestaan. Oikosulkumoottoreissa tämä tarkoittaa staattorikäämityksen uusintaa. DC-moottoreissa korjataan yleensä roottorikäämitys mutta toisinaan myös napoja voi joutua käämimään. DC-moottoreiden kommutaattorin pinta myös oikaistaan sorvaamalla sekä huolletaan hiilisillat.

Koestusmittauksien tarkoituksena on varmistaa, että moottori täyttää sille asetettavat sähköiset ja mekaaniset vaatimukset. Huollon aikana syntyneet vauriot, huomaamatta jääneet piiloviat tai kääminnässä tulleet viat havaitaan viimeistään tässä vaiheessa. ABB:n moottoritehtaalla uusille koneille tehtävät mittaukset ovat kattavampia mutta huollossa tähän ei ole ajallisesti ja laitteistollisesti mahdollisuuksia. Koska osa huollettavista koneista on muiden kuin ABB:n valmistamia, ei olisi mitenkään mahdollista kattaa samaa testivalikoimaa, mitä kukin valmistaja uusille koneilleensa tekee. Valitulla testiserialla pystytään varmistamaan erittäin suurella todennäköisyydellä, että moottori on toimintakuntoinen. Taulukossa 1 (Sillanpää 2010, 18) on vertailun vuoksi ABB:n moottoritehtaalla suoritettu erilaiset testisarjat.

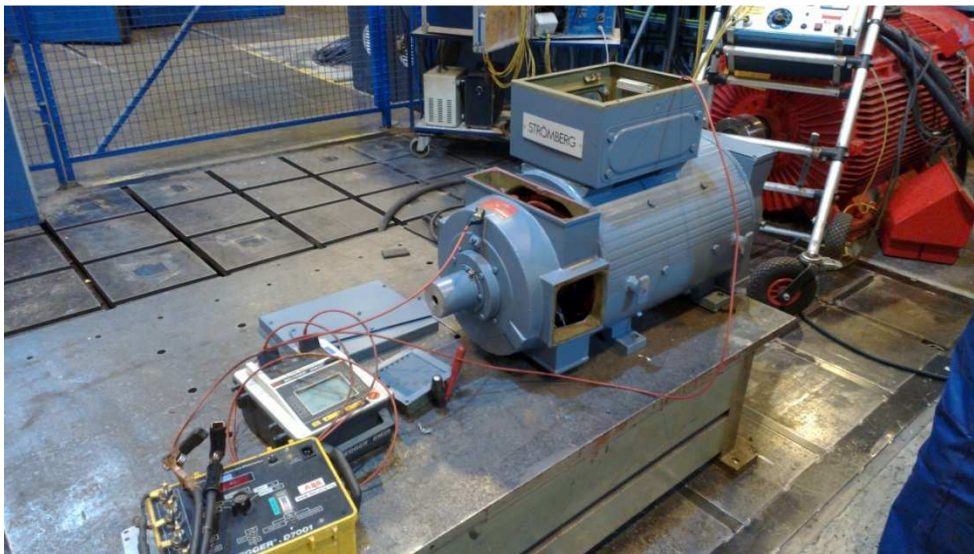
	Rutiini koestus	Rutiini koestus nimellisillä arvoilla	Standardi tyyppi testi	Pidennetty tyyppi testi	Erikais testit
Silmämääräis tarkastus	X	X	X	X	
Jännitteenketoestus	X	X	X	X	
Eristysvastusmittaus	X	X	X	X	
Vastusten mittaus suunnittelulämpötilassa	X	X	X	X	
Liittimien merkitseminen ja pyörimis suun tarkastus	X	X	X	X	
Tyhjäkäyntikoestus		X	X	X	
Oikosulkukoestus		X	X	X	
Lämpenemäkoestus			X	X	
Hyötysuhteen määrittely			X	X	
Ylikuormituskoestus			X	X	
Ylinopeuskoestus			X	X	
Ylijännitekoestus					X
Käynnistysvirta ja -momentti			X	X	
Momenttikäyrä				X	
Tärinätasokoestus			X	X	
Tärinäspektrikoestus					X
Äänitasokoestus					X
Äänispektrikoestus					X
Moottorin koestus taajuusmuuttajalla					X
IEEE-hyötysuhde					X
Akselijännite					X
Osakuormakoestus				X	X

Oulun korjaamon testisarja on siis laajennettu rutiinikoestus. Testien sisältö ja tarkoitus poikkeaa osin moottoritehtaalla tehtävistä vastaavista koestuksista. Jokaiselle koneelle suoritettuja testejä ovat

- eristysresistanssimittaus
- käämiresistanssien mittaus
- jännitteenkestokoestus
- moottorin tyhjäkäyntikoestus ja värinämittaus
- silmämääräinen tarkastus.

Tarvittaessa voidaan moottorille ajaa myös kuormituskoe.

Toisinaan asiakas haluaa vanhan moottorin käämittävän korkeampaan eristysluokkaan, jolloin moottorin koestukset tehdään tämän luokan mukaisesti. Koestus tehdään teräksisen koestuspöydän päällä, josta moottori on eristetty kumityynyillä resonanssien välttämiseksi. Kuvassa 2 on DC-moottori koestuspöydällä.



Kuva 2. DC-moottorin eristysvastusmittaus koestuspöydällä

Koestuspaikalla voidaan tehdä tarvittaessa myös muita mittauksia, joilla pyritään yleensä selvittämään moottorin käämityksessä tai levypakassa olevia ongelmia. Tällaisia mittauksia ovat

- syöksyaaltotesti
- kehäkoe.

### 2.2.1 Eristysresistanssimittaus

Eristysvastusmittaus suoritetaan 500 V:n tasavirralla 60 sekunnin testinä moottorin vaihekäämien sekä rungon välillä. Tällä suljetaan pois eristysviat ja mahdollinen maasulku moottorin sähköisissä testeissä. Pöytäkirjan tallennetaan lukemat 15 sekunnin ja 60 sekunnin kohdilta. Jakamalla 60 sekunnin tulos 15 sekunnin tuloksella saadaan laskettua polarisaatioindeksi, jonka tulisi olla vähintään 2. (Konttinen 2008, 35.)

### 2.2.2 Käämiresistanssin mittaus

Käämitysten resistanssien yhdenmukaisuudella varmennetaan käämityn koneen oikea kytkentä sekä staattorikäämien symmetrisyys. Mittaus suoritetaan liitinten U1 - U2, V1 - V2 sekä W1 - W2 väliltä milliohmimittarilla. Lukemat tallennetaan pöytäkirjaan. Tämän testin yhteydessä mitataan myös käämityksessä ja laakeroinnissa olevien Pt-100 tai vastaavien lämpötila-antureiden toiminta. Näiden mittaus tehdään normaalilla yleismitarilla. (Konttinen 2008, 38.)

### 2.2.3 Jännitteenkestokoestus

Koestuksessa syötetään testijännite vaihejohtimen ja moottorin rungon välille. Huolletulle ja kokoonpannulle koneelle käytetty testijännite saadaan laskemalla kaavalla:

$$U_{test} = 1,20 * U_n + 400V \quad (1) \quad (\text{Konttinen 2008, 40.})$$

missä  $U_n$  on moottorin nimellisjännite.

Korjaamolla käämityt koneet testataan 2000 V:n jännitteellä. Testin kesto on 1 minuutti. Erityisesti taajuusmuuttajakäytöissä moottorin käämitystä rasittaa nopeista puolijohdekytkennöistä syntyvät nopeat jännitepiikit. Testin tarkoituksena on varmistaa käämityksen eristeiden jännitepiikkien kestävyys.



#### **2.2.4 Silmämääräinen tarkastus**

Silmämääräisessä tarkistuksessa varmistetaan, että arvokilvet ovat paikallaan ja niistä saa selvän. Lisäksi varmistetaan liitinkoteloiden ja muiden varusteiden kunto ja oikea kiinnitys.

#### **2.2.5 Tyhjäkäyntikoestus ja värähtelynopeuden tehollisarvon mittaus**

Tässä koestuksessa moottoria ajetaan nimellisnopeudella ja -jännitteellä ilman kuormitusta. Moottoria voidaan pyörittää säätömuuntajan kautta saatavalla verkkovirralla tai koestuskentässä olevilla taajuusmuuttajilla. Moottorin ottamat vaihevirratt mitataan ja kirjataan pöytäkirjaan.

Tämän koestuksen aikana tarkistetaan myös moottorin pyörimissuunta, jonka tulisi olla myötäpäivään akselin suunnasta katsottuna.

Moottorin värähtelynopeuden tehollisarvot mitataan molemmista päistä sekä akselin pituussuunnassa että kohtisuoraan laakerikilvistä yleensä löytyvistä koestuspaikoista. Värähtelynopeuden mittauksesta saatava suure on mm/s ja sen tulisi olla alle 2,8 vierintälaakerikoneilla ja alle 1,8 liukulaakerikoneilla. Yli hyväksymisrajan menevät värähtelynopeudet kielivät moottorin epätasapainosta tai laakerin sovitusergelmistä. Tällöin kone puretaan uudelleen ja syy tärinäihin selvitetään. Saadut mittauslukemat kirjataan koestuspöytäkirjaan.

#### **2.2.6 Kuormituskoe**

Tässä testissä koestettavaa moottoria kuormitetaan jarruttavalla generaattorilla. Kuormituskokeella voidaan seurata, lämpeneekö moottori sallituissa rajoissa tietyllä kuormitus-tasolla. Yleensä kuormitettavana on DC-moottori, jonka hiilisiltojen säätövirheiden aiheuttama kipinäinti ei ilmene vielä tyhjäkäynnillä.

### 2.2.7 Syöksyaaltotesti

Syöksyaaltotestissä, jota kutsutaan myös nimellä toistoaaltokoestus, mittari lähettää käämiin nopean syöksyaallon amplitudiltaan 2000 V:a, jonka heijastuma ja vaimenema piirtyy oskilloskoopin näytölle. Mittaus tehdään kustakin käämistä erikseen, saadut aaltokuviot piirretään näytölle päällekkäin ja havainnoidaan ovatko aaltomuodot yhteneviä. Poikkeavat aaltomuodot kertovat onko staattorikäämissä maasulku, pakkaoikosulku, vyyhtioikosulku tai jokin muu vastaava vika. Testiä käytetään yleensä korjattavaksi tulleen moottorin vika-analyysiin. Syöksyaaltotestillä varmistetaan myös käämittyjen koneiden käämityksen oikeellisuus ja mahdolliset lankojen eristeviat ennen moottorin hartsausta. (Konttinen 2008, 36.)

### 2.2.8 Kehäkoe

Kehäkokeessa moottorin rungon ja staattoripakan läpi viedään 1-johtimisia kumikaapelisilmukoita tarvittava määrä. Moottorin runkokoon perusteella lasketaan tarvittava virta, joka sitten johdetaan kaapeliin säätömuuntajan kahden vaiheen väliltä. Induktio lämmittää staattorin levypakkaa ja siinä olevien pakkaoikosulkujen aiheuttamat pyörrevirrat näkyvät lämpökamerakuvassa kuumina pisteinä. Pahasti oikosulussa oleva levypakka tarkoittaa yleensä sitä, että kone on korjauskelvoton.

## 2.3 Sähkökeskukset

Keskus määritellään olevan rakenteellisesti vapaasti seisova kennokeskus, joka asennetaan ensisijaisesti sähkötilaan. Kotelointiluokaltaan keskuksen tulee olla vähintään IP21 ja varustettuna katto- ja takalevyillä. Syöttö- ja lähtöyksiköiden osastointimuoto on määritelty tarkemmin standardissa SFS-EN 60439-1. Keskus voi olla kalustettu joko kiinteillä tai ulosvedettävillä lähdöillä. Keskuksen ovien tulee olla kenttä-, tila- tai yksikkölähtökohtaisia. (PSK-1801 2000, 13.)

Keskusten syöttökenttään liityntä suoritetaan kolmivaihekaapelilla, suurvirtakaapelijärjestelmällä tai kiskosillalla. Syöttöyksikössä käytetään pääpiirin erottamiseen ja luotettavan avausvälin muodostamiseen kuormakytintä tai katkaisijaa. Pääkatkaisija on merkittävä kilvellä ”PÄÄKYTKIN”. Ulkoisesta apujännitteestä, takajännitteestä tai vastaa-

vasta ilmoittava varoituskilpi kiinnitetään pääkytkimen läheisyyteen. (PSK-1801 2000, 19 - 22)

Sähköturvallisen huollon ja käytön kannalta on lähtöyksiköiden kalustukselle määritelty seuraavia perusominaisuuksia:

- Katkaisijatilaan ei ole sijoitettu laitteita, joita tarvitsee käsitellä käytön aikana.
- Lämpöreleen kuittauspainike suositellaan sijoitettavaksi kojetilän oveen, jolloin lämpöreleen kuittaamisen ei tarvita sähköalan ammattilaista.
- Lähtöyksiköt on suojattu siten, että normaali käyttö ja usein toistuva huolto voidaan tehdä turvallisesti.
- Lähdön etukojeen syötön puoleiset navat on kosketussuojattu.
- Keskuksen jokainen yksittäinen lähtö voidaan kaapeloida muiden lähtöjen ollessa jännitteisinä.
- Kalustuksessa on noudatettu standardin SFS-EN 60439-1 mukaisia kuormituksen tasauskertoimia.
- Lähtöyksiköiden liittynät ja kosketinrakenteet ovat oikosulkukestoisia etukojeen jälkeisessä oikosulussa. (PSK-1801 2000, 25.)

Keskuksille tulee suorittaa tehtaalla standardin SFS-EN 60439-1 mukaiset kappalekoeket. Lämpöreleiden asettelut tehdään vasta keskuksen asennuksen jälkeen käyttöönotovaiheessa, jolloin tehdään myös seuraavat testit ja koestukset:

- päävirtapiirin eristysvastusmittaus
- katkaisijoiden toiminnan koestus
- maasulku- tms. releiden toimintojen koestus
- kojeistossa olevien mittauspiirien tarkistus. (PSK-1801 2000, 39.)

## 2.4 Sähkölaitteiden testauspaikka

Koekentän katsotaan olevan standardin SFS-EN 50191 ”Sähköisten testauslaitteistojen asennus ja käyttö” mukainen sähkölaitteiden testauspaikka, joka on toteutettu ilman automaattista suojausta kosketukselta. Tämä tarkoittaa, että testauslaitteen ja testattavan

kohteen kaikki jännitteiset osat eivät ole testauksen aikana täysin kosketukselta suojattuja. Tällöin tulee seuraavien vaatimusten täyttyä:

- Alueen tulee olla suoja-aidattu siten, ettei ulkopuolelta ylety kielletylle alueelle ja käytön aikana asiattomilta pääsy tulee estää automaattisesti lukkiutuvilla kulkureiteillä. Käyttäjien on myös oltava koko ajan nähtävissä koestusalueen ulkopuolelta.
- Vähintään yksi hätäpysäytyspainike on sijoittava testausalueen ulkopuolelle.
- Toimintatilaa ilmaisemaan on asennettava riittävä määrä vihreitä ja punaisia varoitusvaloja.
- Tavalliseen sähköverkkoon kytketyt testauspiirit tulee lisäsuojata käyttäen  $I_{\Delta N} \leq 30mA$  vikavirtasuojalla.
- Sähkökojeilla, kuten mittareilla ja säätövastuksilla, on oltava tehokas vikasuojausmenetelmä.
- Työskentelyalueen on oltava sellainen, että testaushenkilöiden liikkuminen on esteetöntä. (SFS-EN-50191 2011)

Testauspaikalla työskentelylle ja siellä työskentelevälle henkilöstölle on asetettu seuraavia vaatimuksia:

- Testauslaitteiston kanssa saavat työskennellä vain ammattihenkilöt tai opastetut henkilöt, jotka on koulutettu tehtäviin mittauksiin, laitteistoihin sekä työhön liittyviin vaaroihin. Henkilöt tulee olla virallisesti nimettyjä ja heidän koulutuksestaan ja osaamisestaan tulee pitää kirjaa.
- Henkilöstölle on annettava koulutus testauskoettimien käyttöön liittyvistä vaaroista.
- Testauspaikassa saa työskennellä vain työstä vastaavan henkilön kokonaisvaltaisen valvonnan alaisuudessa.
- Testauspaikalle saavat mennä vain sinne kuuluvat henkilöt ja sellaiset, jotka ovat saaneet riittävän opastuksen testipaikkaan liittyviin vaaroihin.
- Jokaisen testipaikalla työskentelevän on oltava tietoisia esiintyvistä vaaroista ja noudatettava varovaisuutta ja sovittuja turvallisuustoimenpiteitä. (SFS-EN-50191 2011)

### 3 MITTAUKSET JA TARKASTUKSET

Tässä alaluvussa käydään läpi sähkölaitteistolle vaadittavat käyttöönottotarkastukset sekä niiden taustalla olevat standardit.

Sähköturvallisuuslaki 14.6.1996/410 määrittää tietyt vaatimukset sähkölaitteistojen turvallisuudelle, sähkötöille, käyttöönotolle jne. Tätä täydentävät ja tarkentavat säädökset sekä Kauppa- ja Teollisuusministeriön päätökset (KTMp). Näistä KTMp 1193/1999 (muutosasetus 517/2011) koskee sähkölaitteistojen turvallisuutta ja päätös 1194/1999 taas sähkötyöturvallisuutta. Päätöksissä esitetyt olennaiset turvallisuusvaatimukset voidaan olettaa täytyvän, kun sovelletaan tiettyjä turvallisuusstandardeja tai muita vastaavia julkaisuja. Tukes eli Turvallisuus- ja kemikaalivirasto on Suomen sähköturvallisuusviranomaisen roolissa julkaissut Tukes-ohje S10-2012:n, jossa on listattuna tällaiset standardit. Koestuskenttä suunniteltiin, toteutettiin ja tarkastettiin Tukes-ohje S10:n vahvistamien standardien mukaisesti. (Tukes 2012)

Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös 1996/517 sähkölaitteistojen käyttöönotosta ja käytöstä vaatii, että sähkölaitteistolle on tehtävä käyttöönottotarkastus, jossa riittävällä laajuudella selvitetään, ettei sähkölaitteistosta aiheudu sähköturvallisuuslain (410/96) 5§:ssä tarkoitettua vaaraa tai häiriötä. Käyttöönottotarkastus tulee suorittaa aina ennen kuin laitteisto tai laitteiston osa otetaan sen varsinaiseen käyttötarkoitukseen. Laitteiston käyttöönottotarkastuksesta tulee myös laatia sähkölaitteiston haltian käyttöön tarkastuspöytäkirja. Käyttöönottopöytäkirjaa ei vaadita:

- sellaisista sähköalan töistä, joista voi aiheutua vain vähäistä vaaraa tai häiriötä
- nimellisjännitteeltään alle 50V vaihtojännitteisten tai 120 voltin tasajännitteisten sähkölaitteistojen asennuksista
- yksittäisen komponentin vaihdosta, lisäyksestä taikka näihin verrattavista toimenpiteistä
- yksittäisten kojeiden syöttöön liittyvistä muutostöistä enintään 1000 voltin nimellisjännitteellä
- nimellisjännitteeltään enintään 1000 voltin kytkinlaitoksiin kohdistuvista muutostöistä, joissa kytkinlaitoksen nimellisarvoja ei muuteta

- sellaisen tilapäislaitteiston asennuksesta, joka on koottu standardien mukaisista työmaakeskuksista.

Hyvän tavan mukaista on kuitenkin dokumentoida kaikkien muutosten käyttöönottomittausten tai tarkistusmittausten tulokset. (KTMp 1996/517)

Sähköturvallisuuteen liittyvät tarkastukset on yksilöity tarkasti standardin SFS 6000 osassa 6. Häiriösuojauksen tarkistamiseen taas tehdään aistinvaraisesti varmistamalla, että standardin SFS6000 luvun 444 soveltuvat vaatimukset toteutuvat.

Käyttöönottotarkastus jakaantuu karkeasti kahteen eri osaan; koko sähkölaitteiston rakentamisen ajalle ajoittuvaan aistinvaraiseen tarkastukseen sekä ennen käyttöönottoa tapahtuvaan testaukseen. Testaus sisältää erilaisia mittauksia ja toiminnallisia kokeita. Seuraavissa luvuissa on käyty nämä läpi tarkemmalla tasolla.

### 3.1 Aistinvaraiset tarkastukset

Aistinvarainen tarkastus tehdään ennen testauksia laitteiston ollessa jännitteettömänä. Käytännössä aistinvaraista tarkastusta suoritetaan koko sähkölaitteiston rakentamisen ajan ja havaitut puutteet korjataan pikaisesti. Aistinvaraisesti siis tarkistetaan, että kiinteän asennuksen osana olevat sähkölaitteet

- ovat niitä koskevien turvallisuusvaatimusten mukaisia.
- ovat standardin SFS 6000 vaatimusten ja valmistajan ohjeiden mukaisesti valittuja ja asennettuja.
- eivät ole vaaraa aiheuttavalla tavalla vaurioituneita. (Saastamoinen & Saarelainen 2012, 11.)

Vähintään seuraavien kohtien tarkistaminen tulee sisältyä aistinvaraiseen tarkastukseen, silloin kun ovat relevantteja:

- a) sähköiskulta suojaukseen käytetyt menetelmät
- b) palosuojauksien käyttö ja toimenpiteet lämpövaikutuksilta suojaamiseksi sekä palon leviämiseksi tehdyt toimenpiteet
- c) johtimien valinta kuormitettavuuden ja sallitun jännitealeneman kannalta

- d) suoja- ja valvontalaitteiden valinta ja asettelu
- e) erotus- ja kytkentälaitteiden valinta ja oikein sijoitus
- f) sähkölaitteiden ja suojausmenetelmien valinta ulkoisten tekijöiden mukaan
- g) nolla- ja suojajohtimien oikeat tunnuks
- h) yksivaiheisten kytkinlaitteiden kytkentä äärijohtimiin
- i) piirustusten, varoituskilpien tai vastaavien tietojen olemassaolo
- j) virtapiirien, varokkeiden, kytkimien, liittimien yms. tunnistaminen
- k) johtimien liitosten sopivuus
- l) suojajohtimien, mukaan lukien luettuna suojaavien potentiaalintasausjohtimien ja lisäpotentiaalintasausjohtimien olemassaolo ja sopivuus
- m) sähkölaitteiston käytön, tunnistamisen ja huollon vaatimat tilat.

Lisäksi tarkastukseen pitää sisältyä kaikki erikoistilojen ja -asennusten erityisvaatimukset silloin kun relevantteja. (Saastamoinen & Saarelainen 2012, 11.)

### 3.2 Testaukset

Testaukset ovat erilaisia mittauksia sekä toimintatestejä. Kaikkia suureita ei ole pakko mitata, jos ne voidaan todentaa esimerkiksi laskemalla. 2012 voimaan tulleen SFS 6000 standardin mukaan tulee kohteen kaikki oikosulkuvirrat laskea jo suunnitteluvaiheessa. Nämä kannattaa kuitenkin varmistaa vähintään pistokokeen luonteisilla mittauksilla. Ennen jännitteiden ensimmäistä kytkemistä on tehtävä aistinvaraisten tarkastusten lisäksi tietyt käyttöönottotarkastukseen kuluvat mittaukset. Nämä ovat ns. jännitteettömänä tehtäviä mittauksia. Testaukset tulee tehdä standardin EN-61557 mukaisilla testilaitteilla ja menetelmillä. (Saastamoinen & Saarelainen 2012, 17.)

#### 3.2.1 Eristysresistanssi

Eristysresistanssi mitataan kaikkien jännitteisten johtimien, TN-S järjestelmässä nollajohdin mukaan lukien, ja suojamaan väliltä. Vaihejohtimet ja nollajohdin voivat olla mittauksen aikana kytkettynä yhteen. Mittaus tehdään jännitteettömänä ja keskukselta nolla- ja PE-johtimien yhteys avattuna. Mittausjännite valitaan mitattavan virtapiisiin

nimellisjännitteen perusteella. Taulukossa 2 on esitetty kullekin piirille käytettävät mitausjännitteet sekä pienin sallittu arvo mittaustulokselle. Jos 230VAC piirissä on herkästi vioittuvia elektronisia termostaatteja tai liitälaitteita niin tällöin voidaan mitaus tehdä käyttäen 250V koejännitettä.

Taulukko 2. Eristysresistanssin pienimmät sallitut arvot (SFS 6000-6-61, taulukko 6.1)

Virtapiirin nimellisjännite V	Koejännite (tasajännite) V	Eristysresistanssi MΩ
SELV ja PELV	250	≥ 0,5
Enintään 500 V, edellä olevaa kohtaa lukuun ottamatta	500	≥ 1,0
Yli 500 V	1 000	≥ 1,0

Jos virtapiirissä on releitä kontaktoreja, kytkimiä tai muita erottavia laitteita, tulee kyseisen kytkinlaitteen jälkeinen osuus virtapiiristä mitata erikseen tai sulkea kytkinlaite mittauksen ajaksi. (Saastamoinen ja Saarelainen 2012, 25)

### 3.2.2 Suojajohtimen jatkuvuus

Suojajohtimiin lasketaan kuuluvaksi suojamaadoitusjohtimet (PE-johdin), maadoitusjohtimet, PEN-johtimet sekä potentiaalintasausjohtimet. Mittaukset tehdään jännitteetömänä ja TN-S järjestelmän tapauksessa erotetaan nolla- ja PE-johdinten yhdistys keskuksen päässä. Mittauksella varmennetaan, että suojamaa jatkuu katkeamattomana laitteelta toiselle ja se tehdään jokaiselta ryhmään kytketyltä kojeelta lähimpään maadoitus- tai potentiaalintasauskiskoon. Mittaustuloksen tulee olla välillä 0-2Ω. (Saastamoinen ja Saarelainen 2012, 18)

Mittauksessa käytetään joko koko johdinpituuden mittaista apujohdinta tai pitkillä johdinvedoilla voidaan apujohtimena käyttää nousujohtimen nolla/vaihejohdinta tai toisen nousujohdon suojamaajohdinta. Eristysresistanssin ja suojajohtimen mittausten jälkeen tulee muistaa yhdistää nolla- ja PE-johdin keskuksessa ja varmistaa mittaamalla niiden yhdessäolo.



### 3.2.3 SELV- ja PELV-piirien tai sähköisesti erotettujen piirien erotus

Näiden järjestelmien suojaavana ja erottavana elementtinä on muuntaja, jolla tuotetaan sähköinen erotus sekä SELV- ja PELV-piireillä myös suojajännite. Mittaukset suoritetaan jännitteettömänä. Kytkennöistä mitataan aina ensiö- ja toisiopuolen eristysresistanssi, jonka on oltava 250 V:n mittajännitteellä vähintään 0,5 M $\Omega$ :a 230 V:n suojaerotusmuuntajan mittajännite on kuitenkin 500 V:n ja vaadittava eristysresistanssi vähintään 1,0 M $\Omega$ :a. Suojaerotetussa ja SELV-järjestelmässä tulee toisio ja sen jännitteelle alttiit osat olla maadoittamattomia. Tällöin tulee myös toisio ja maan välinen eristysresistanssi mitata 250 V:n testijännitteellä ja 0,5 M $\Omega$ :n minimirajalla. (Saastamoinen & Saarelainen 2012, 26.)

### 3.2.4 Lattia ja seinäpintojen eristysresistanssi

Mikäli suojausmenetelmänä käytetään eristävää ympäristöä, tulee seinä- ja lattiapintojen resistanssit mitata. Tällöin resistanssin tai impedanssin mittaus tehdään saman tilan sisällä vähintään kolmesta eri kohdasta jokaiselle mittausta vaativalle pinnalle. Mittauksista yksi on tehtävä noin metrin päässä kyseisen tilan jostakin muusta kosketeltavissa olevasta johtavasta pinnasta. Tämä suojausmenetelmä on hyvin harvinainen joten pintojen resistanssimittauksia ei yleensä tehdä. (Saastamoinen & Saarelainen 2012, 29.)

### 3.2.5 Sähkölämmityskaapeleiden ja kelmujen mittaukset

Sähkölämmityskaapelit ja -kelmut tulevat yleensä rakenteisiin piiloon ja ovat hankalasti vaihdettavia. Niiden silmukkaresistanssit ja eristysresistanssit tulee mitata heti asennuksen sekä peittämisen jälkeen. Eristysresistanssin mittaus tehdään sekä suojajohtimen ja vaihejohtimen että suojajohtimen ja nollajohtimen väliltä. Silmukkaresistanssin mittaus tehdään vaihe- ja nollajohtimen väliltä. (Saastamoinen & Saarelainen 2012, 29.)

### 3.2.6 Syötön automaattisen poiskytkennän toiminta

Vikasuojausta koskevat vaatimukset katsotaan täyttyvän, kun

- a) vian aiheuttama vaarallinen kosketusjännite kytkeytyy automaattisesti pois vaatimusten edellyttämässä ajassa

b) vian aiheuttama kosketusjännite rajoitetaan vaarattomaan arvoon.

2012 uudistuneen SFS 6000 standardin mukaan tulee jokaisesta rakennettavasta kohteesta tehdä suojauslaskelmat jo suunnitteluvaiheessa. Käyttöönottotarkastuksessa voidaan kosketussuojausehtojen täyttyminen todeta varmistamalla, että suunnitelmien laskelmien johdotukset vastaavat asennettuja. Oikosulkuvirrat ja silmukkaimpedanssit voidaan myös mitata tähän soveltuvalla mittarilla ja kirjata mittauspöytäkirjaan. Laskelmien yhdenpitävyys asennuksiin olisi kuitenkin hyvä varmistaa vähintään pistokoeluontotilla mittauksilla. Mittaus on suoritettava kunkin ryhmän epäedullisimmasta pisteestä ja varmistettava että oikosulkuvirta on riittävä laukaisemaan ryhmän suojalaite vaaditussa ajassa. Mittaus suoritetaan jännitteellisessä järjestelmässä. (D1-2012, 344.)

Ryhmäjohtojen tapauksessa on suojauksen toimittava 0,4 s:ssä. Keskuksia syötävillä nousujohdoilla on suojauksen taas toimittava 5 s:ssä. Johdonsuojakatkaisijoille vaadittavat laskennalliset sekä mitatut laukaisuvirrat on esitetty taulukossa 3. Vastaavat arvot gG-sulakkeille on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 3. Pienimmät johdonsuojakatkaisijoiden toimintavirrat ja vaaditut mitatut arvot (Saastamoinen & Saarelainen 2012, 34, taulukko 1.3)

Nimellis- virta	B-tyyppi 0,4 s ja 5,0 s	Vaadittu mitattu arvo	C-tyyppi 0,4 s ja 5,0 s	Vaadittu mitattu arvo	K ja G- tyypit 0,4 s ja 5,0 s	Vaadittu mitattu arvo	D-tyyppi 0,4 s ja 5,0 s	Vaadittu mitattu arvo
A	A	A	A	A	A	A	A	A
6	30	37,5	60	75	84	105	120	150
10	50	62,5	100	125	140	175	200	250
16	80	100	160	200	224	280	320	400
20	100	125	200	250	280	350	400	500
25	125	156,3	250	312,5	350	437,5	500	625
32	160	200	320	400	448	560	640	800
50	250	312,5	500	625	700	875	1000	1250
63	315	393,8	630	787,5	882	1102,5	1260	1575
80	400	500	800	1000	1120	1400	1600	2000
125	625	781,3	1250	1562,5	1750	2187,5	2500	3125

Tauluko 4. Pienimmät gG-sulakkeiden toimintavirrat ja mitatut arvot. (Saastamoinen & Saarelainen, 34, taulukko 1.4)

Nimellisvirta	gG-sulake 0,4 s	Vaadittu mitattu arvo	gG-sulake 5,0 s	Vaadittu mitattu arvo
A	A	A	A	A
2	16	20	9	11,3
4	32	40	18	22,5
6	46,5	58,2	28	35
10	85	102,5	46,5	58,2
16	110	137,5	65	81,3
20	145	181,3	85	106,3
25	180	225	110	137,5
32	270	337,5	150	187,5
35	287	359	165	206,3
40	315	393,8	190	237,5
50	470	587,5	250	312,5
63	550	687,5	320	400
80	840	1050	425	531,3
100	1000	1250	580	725
125	1450	1812,5	715	893,8
160	1600	2000	950	1187,5
200	2100	2625	1250	1562,5
250	2800	3500	1650	2062,5
315	3700	4625	2200	2750
400	4800	6000	2840	3550
500	6400	8000	3800	4750
630	8500	10625	5100	6375

### 3.2.7 Vikavirtasuojien toiminnan testaus

Kaikki järjestelmässä olevat vikavirtasuojat tulee testata. Ensin testataan kunkin vikavirtasuojan toimiminen niissä olevasta omasta testipainikkeesta. Tämän jälkeen mitataan soveltuvalla mittarilla, että suoja toimii nimellisvirtansa rajoissa. Toimintavirran tulisi olla 0,5-1 -kertainen nimellisvirtaansa nähden ja se saadaan mitattua ns. ramppi-testillä. toiminta-aika suositellaan myös mitattavaksi kaikissa tapauksissa. Vikavirtasuojan viallisen toiminnan estämiseksi olisi myös mitattava, että vikavirtakytkinten nollapiiri on erillään normaalien ryhmien nollapiiristä. (Saastamoinen & Saarelainen 2012, 35.)

### 3.2.8 Napaisuuden testaus

Koska yksinapaisten kytkinlaitteiden asentaminen nollajohtimeen on kiellettyä, tulee tämän varmistaminen suorittaa osana käyttöönottotarkastusta. Käytännössä tämä tulee varmistaa jo asennusta tehtäessä. Tarkastus on siis osa jatkuvaa aistinvaraista tarkastusta. (Saastamoinen & Saarelainen 2012, 35.)

### **3.2.9 Kiertosuunnan tarkistus**

Monivaiheisissa piireissä tulee mittauksin tarkistaa, että vaiheiden kiertosuunta säilyy samana. Tarkistusmittaukset tulee tehdä soveltuvalla mittarilla tai koettimella vähintään kolmivaihepistorasioista. Suositeltavaa on myös varmistaa kiertosuunnan säilyminen keskusten kiskostolta. (Saastamoinen & Saarelainen 2012, 36.)

### **3.2.10 Toiminta- ja käyttötestit**

Toimintatestit tehdään valmiille ja muutoin tarkistusmitatulle ja valmiille laitteistolle. Testissä varmistetaan erilaisten asennettujen laitteiden valmistajan ohjeiden sekä suunnitelmien mukainen toiminta. Tällaisia laitteita ovat esimerkiksi kytkin-, käyttö-, ohjaus- ja lukituslaitteet. Varsinkin isommissa kohteissa tämä voi olla isokin työ ja erillisen testisuunnitelman laatiminen etukäteen auttaa testien hallitussa suorittamisessa. (Saastamoinen & Saarelainen 2012, 36.)

### **3.2.11 Jännitteenalenema**

Sallitulle jännitteenalenemalle ei ole standardissa vaatimuksia joten sitä ei yleensä käyttöönottotarkistuksessa todeta. Jos kohteeseen sovitaan erikseen jännitteenaleneman määrittämiseksi, niin se voidaan tehdä joko laskemalla tai mittaamalla. (Saastamoinen & Saarelainen 2012, 36.)

## **3.3 Käyttöönottotarkastuksen dokumentointi**

Käyttöönottotarkastuksesta tulee sähkölaitteiston haltijan käyttöön laatia tarkastuspöytäkirja, jonka tarkastuksen tekijä allekirjoittaa. Siitä on myös löydyttävä sähkötöiden johtajan yhteystiedot. Pöytäkirjalle ei standardissa ole asetettua muotovaatimuksia mutta siitä tulee käydä ilmi

- kohteen yksilöintitiedot
- laitteiston rakentajan yhteystiedot
- selvitys sähkölaitteiston säännösten ja määräysten mukaisuudesta

- yleiskuvaus käytetyistä tarkastusmenetelmistä
- tarkastusten ja testausten tulokset. (D1-2012, 347.)

Mittauksista tulee tarkastuspöytäkirjaan merkitä ainakin seuraavat tiedot:

- eristysresistanssimittauksista kaikki mittaustulokset
- silmukkaimpedansseista kaikki tehdyt mittaustulokset
- vikavirtasuojien mittaustulokset
- jatkuvuusmittauksista vaatimusten toteutuminen keskuskohtaisesti
- kiertosuunta keskuskohtaisesti. (D1-2012, 347.)

### 3.4 Varmennustarkastukset

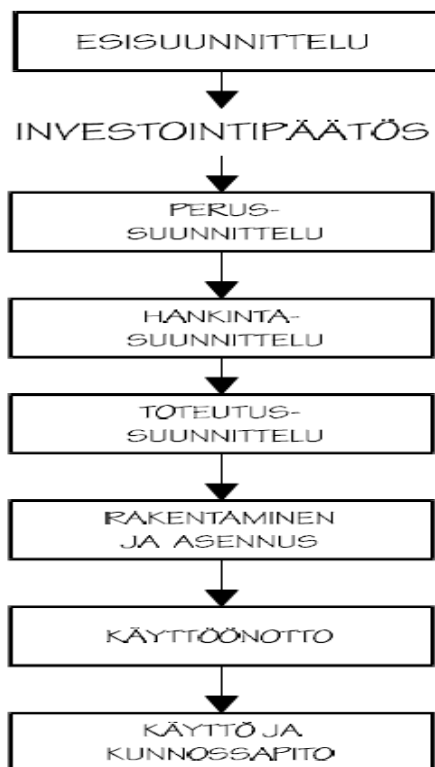
Sähköturvallisuuden varmistamiseksi on sähkölaitteistolle tehtävä käyttöönottotarkastuksen lisäksi varmennustarkastus, kun kyseessä on luokan 1 - 3 sähkölaitteisto. Varmennustarkastus tulee tehdä myös tällaisen laitoksen muutostöille, jollei kyse ole KTMP 517/1996:n 4§ 2 momentissa tarkoitetuista sähköalan töistä. Sähkölaitteiston rakentajan tulee myös huolehtia, että varmennustarkastus tehdään ajallaan. (Saastamoinen & Saarelainen 2012, 45.)

Varmennustarkastus on tehtävä, ennen kuin sähkölaitteisto otetaan varsinaiseen käyttöön. Luokan 1 ja 2 sähkölaitteistoille varmennustarkastus voidaan tehdä kolmen kuukauden kuluessa käyttöönotosta. Tarkastuksen voi tehdä valtuutettu laitos. Muille kuin KTMP 517/1996 2 §:n 3 a -kohdan tarkoittamille sähkölaitteistoille varmennuksen voi tehdä myös valtuutettu tarkastaja. (Saastamoinen & Saarelainen 2012, 49.)

#### 4 KOESTUSKENTÄN RAKENTAMINEN JA AIKATAULUTUS

Tässä alaluvussa käsitellään kentän konkreettista rakentamista, sen suunniteltua rakennetta, aikataulutusta sekä toteutusteknisiä ratkaisuja. Myös asennustyön aikana tehdyt aistinvaraiset tarkastukset käsitellään soveltuvin osin.

Teollisuuden sähkösuunnitteluprosessin yleispätevät vaiheet on esitetty kuvassa 3. Vaikka kyseessä olikin yrityksen sisäinen kehityshanke, niin silti se noudatti pääpiirteissään tätä mallia. Esisuunnitteluvaihe oli vuoden 2012 lopulla tehty alustava päätös modernisoida koestuskenttä. Tuosta vaiheesta saadulla kustannusarviolla tehtiin lopullinen investointipäätös. Vuoden 2013 alussa alkaneessa Jarmo Seppäsen insinööriyössä (Seppänen 2014) tehtiin perussuunnittelu ja toteutussuunnittelu. Koska ABB toimi itse kentän rakentajana eli urakoitsijana, jäi hankintasuunnitteluun kuuluva tarjouskilpailudokumentaatio pois.

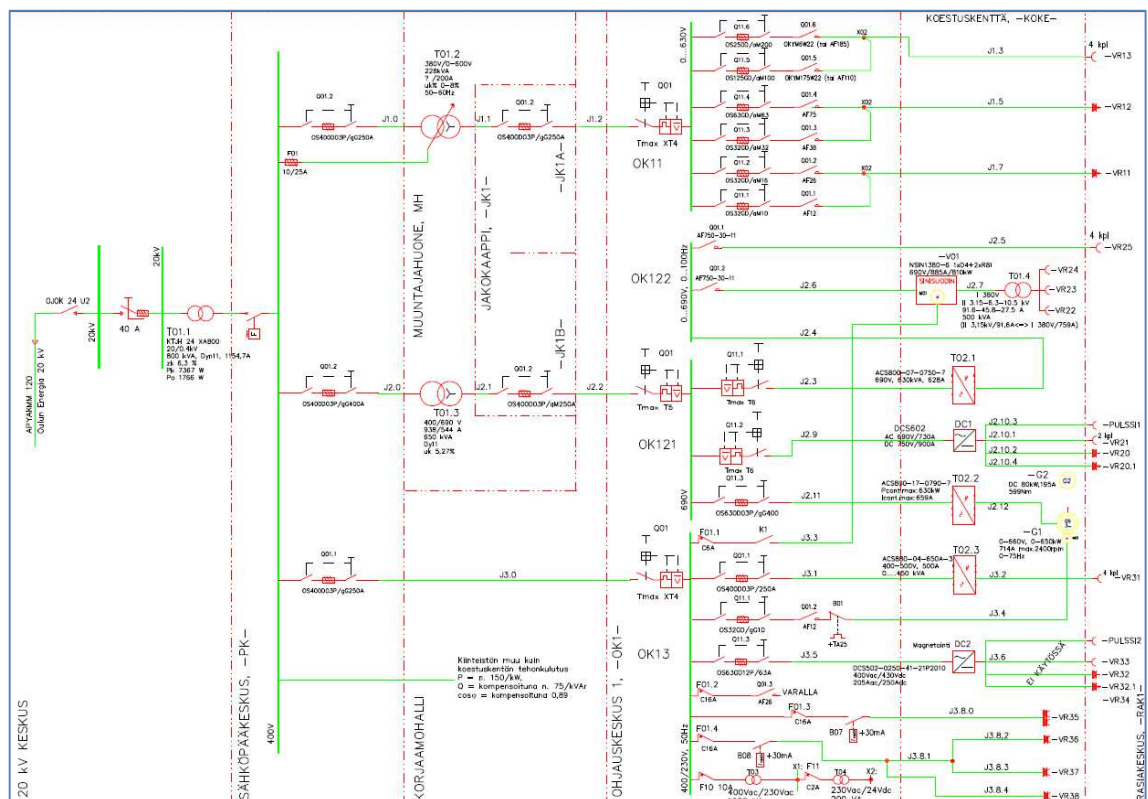


Kuva 3. Teollisuuden sähkösuunnittelun vaiheet (Etto 1998, kuva 4)

Tämä päättötyö keskittyi rakentamis-, asennus- ja käyttöönottovaiheisiin. Käytännössä prosessi ei ole puhtaasti vaiheittainen eli ns. vesiputousmallin mukainen, vaan enemmänkin inkrementaalinen vähintään peräkkäisten vaiheiden välillä. Esimerkkinä asennustyön aikana ilmenneet asiat, jotka vaativat suunnitelmien muutosta. Jopa käyttöönottovaiheessa voi ilmetä asioita, jotka vaativat vielä paluuta suunnittelupöydän ääreen.

#### 4.1 Koestuskentän rakenne

Projektin sähköpääkaavio on esitetty kuvassa 4. Vasemmanpuoleisessa kojeistossa on kiinteistön 20 kV:n syöttö sekä 800 kVA:n kiinteistömuuntaja. Seuraava kojeisto on kiinteistön sähköpääkeskus, joka sijaitsee samassa sähkötilassa muuntamon kanssa. Sähköpääkeskukselta lähtivät syöttökaapelit vanhalle koestuskentälle. Kaapelit olivat 4kpl MCMK 3x185/95. Näitä nousukaapeleita käytettiin uudessa toteutuksessa hyödyksi.



Kuva 4. Projektin sähköpääkaavio (Seppänen 2014)

Sähköpääkeskuksen viereen rakennettiin uusi muuntamotila (muuntajahuone, MH), jonne sijoitettiin 400 V/690 V nostomuuntaja, 0 - 690 V:n säätömuuntaja sekä nousuille

uusi jakokaappi JK1. Koestuskenttään tilattiin uusi sähkökeskus, jossa on kolme eri jännitekenttää. 0 - 690 V:n säätömuuntajalla syötetään koestuskentän ohjauskeskuksen kenttää OK11, josta lähtee eri virta-alueiden suoria kahvasulakelähtöjä rasiakeskukselle RAK1. Rasiakeskuksesta otetaan kytkentäkaapeleilla lähdöt testattaville moottoreille. Muuntajahuoneessa olevalla 400 V/690 V nostomuuntajalla puolestaan syötetään koestuskentän ohjauskeskuksen kenttää OK121, jossa ovat lähdöt kahdelle kaappimallin taajuusmuuttajalle sekä DCS-800 tasavirtakäytölle.

Sähköpääkeskuksesta tulee 400 V:n suora syöttö koestuskentän ohjauskeskuksen kenttään OK13. Tästä kentästä lähtevät syötöt 400 V:n taajuusmuuttajalle, kentän pistorasioille sekä ohjausjännitejakelulle. Kaikki liitännät koestettaville laitteille tehdään liitäntäkaapeleilla rasiakeskuksen kautta. Koestuskenttään sijoitetaan lisäksi muuntaja, josta saadaan 3.15 kV:n, 6.3 kV:n ja 10.5 kV:n lähdöt keskijännitealueen oikosulkumootto- reiden testaamiseen. Keskijännitemuuntajaa syötetään toisella 690 V:n nimellisjännitteen taajuusmuuttajalla väliin asennetun sini-suotimen läpi. Sinisuodin vaimentaa taajuusmuuttajan generoimia jännitepiikkejä sekä auttaa keskijännitemuuntajan ytimen magnetoitumisissa ja muuntajan ”heräämisessä” pienillä taajuuksilla.

Koestuskenttään tuli myös kuormitusgeneraattorina toimiva 650 kW:n oikosulkumoottori, joka kytkettiin kiinteästi ACS800-17-mallin taajuusmuuttajaan. Taajuusmuuttaja on verkkoon jarruttava mallia, jolloin jarrutusenergia saadaan kierrätettyä takaisin OK121:n 690 V:n kenttään.

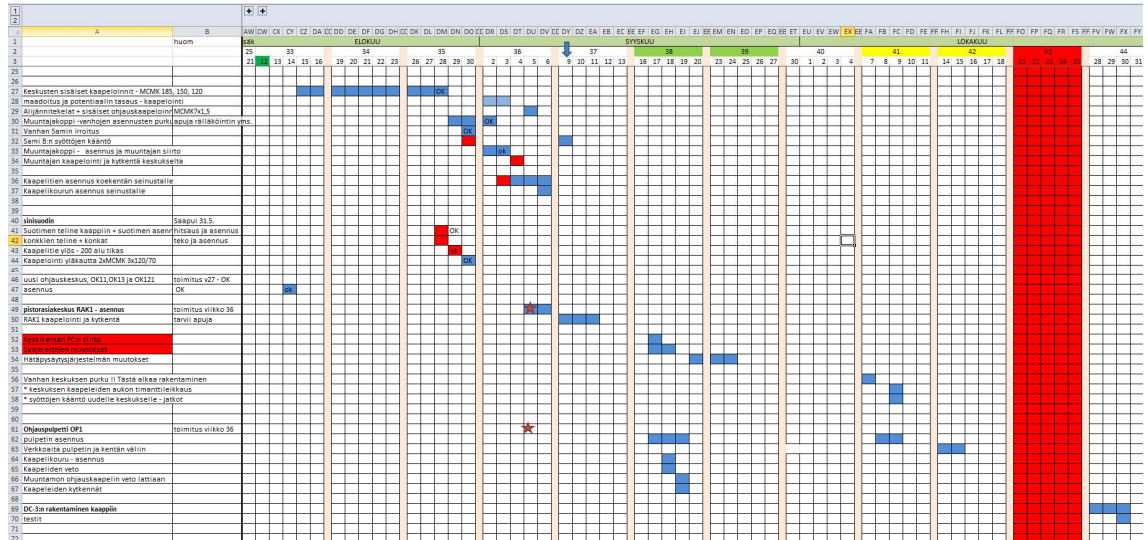
Koestuskentän laitteisto:

- ACS800-7 690 V:n taajuusmuuttaja
- ACS800-17 690 V:n verkkoon jarruttava taajuusmuuttaja
- DCS800 tasavirtakäyttö
- ACS880-04 400 V:n taajuusmuuttaja
- DCS500 tasavirtakäyttö, joka jätettiin ottamatta käyttöön
- säätömuuntajasyöttö moottoreiden suoraan käynnistykseen
- keskijännitemuuntaja 400V : 3.15 kV, 6.3 kV ja 10.5 kV
- AC kuormitusgeneraattori.



## 4.2 Aikataulun laatiminen

Koestuskentän toteutusprojekti käynnistyi suunnitelmiin ja tavoitteisiin perehtymällä. Näiden pohjalta toteutusta lähdettiin pilkkomaan pienempiin kokonaisuuksiin ja aikatauluttamaan kunkin keston. Koska projekti toteutettiin tuotantokäytössä olevan tilaan, piti vaiheet suunnitella mahdollisimman vähän koestuskentän päivittäistä mittauskäyttöä häiritseviksi. Kuvassa 5 on ote Excelillä laaditusta aikataulusta eri työvaiheille.



Kuva 5. Koestuskentän toteutuksen aikatauluspohja

Muuntajahuoneen asennukset, uuden keskuksen asennus ja kaapeloinnit suunniteltiin tehtäväksi valmiiksi mahdollisimman pitkälle vanhan koestuskentän toimiessa rinnalla. Kahden viikon huoltoseisokki varattiin vanhan keskuksen purulle, syöttöjen käännölle sekä laitteiston tärkeimpien osien lopuille kytkennöille sekä käyttöönotolle. Tänä aikana AC500:lle tuli myös tehdä alustava ohjelmisto, jolla saataisiin luettua vähintään katkaisijoiden rekisterit tila- ja virtatietojen esittämiseksi. Tavoitteena oli, että säätömuuntajakenttä sekä 400 V:n taajuusmuuttaja saataisiin käyttöön huoltokatkon aikana ja loput laitteistot tämän jälkeen vaiheittain, kun kentässä ei ole testaustoimintaa.

Aikataulu jaettiin karkeasti viiteen pääryhmään:

- 1) valmistelevat asennukset vanhan kentän rinnalla
- 2) valmistelevat asennukset vanhassa koestuskentässä
- 3) vanhan koestuskentän purku ja loput asennukset
- 4) vaiheittainen käyttöönotto

## 5) lopullinen testaus ja varmennustarkastus.

## 4.3 Määrälaskenta ja tarviketilaukset

Laitteiston komponenttien pisimmät toimitusajat olivat kahdella hankittavalla ACS-800-sarjan taajuusmuuttajalla, jotka oli tilattu jo perussuunnitteluvaiheen alussa. Keskijännitemuuntajan syöttöön tilatulla sinisuotimella oli myös hieman pidempi toimitusaika. Asennustarvikkeiden, kuten kaapeleiden, kaapeliteiden, kiinnikkeiden, johtokourujen jne. määrälaskenta tehtiin pohjautuen suunnitelmiin ja suunniteltuihin asennusreitteihin. Erityisesti paksut kuparikaapelit ovat kalliita, joten niiden ylimitoittamista tuli välttää.

Tarkistetun tarvikelistan perusteella toimitettiin ABB:n käyttämille sähkötarviketukku-reille tarjouspyynnöt. Tarjousten vertailussa ilmeni heti ongelmia paksuimpien MCMK-kaapeleiden osalta. Kaapeleiden toimitusajat olivat yllättävän pitkiä, joten niiden osalta piti tehdä uudelleenarviointi tarpeiden ja saatavuuden perusteella. Ongelmana ollutta MCMK 3x185/95 -kaapelia löytyi tukkureilta halogeenittömänä PEX-vaippaisena versiona. Hintaero ei ollut kovin iso ja PVC-vaippaiseen kaapeliin verrattuna saatiin lisäetuna suurempi kuormitettavuus. Tämä tosin vaati suunnittelijaa päivittämään kuormituslaskelmansa.

Yllätyksiä tuli myös pienempien tarvikkeiden toimitusmäärien kanssa. Joitain asennustarvikkeita saa toiselta tukkurilta kappaleittain ja toiselta vain minimitukkuieran verran. Ylimääräisten rasioiden ja liittimien optimointi olisi ollut työlästä ja vaatinut tilauksen hajauttamista kahteen eri osaan. Tämä olisi todennäköisesti vaikuttanut saatuihin tarjoushintoihin ja loppukustannukseen jopa nostavasti.

## 4.4 Rakentamisen vaiheistus

Rakentaminen vaiheistettiin seuraaviin kolmeen kokonaisuuteen:

- valmistelavat asennukset vanhan koestuskentän rinnalla
- valmistelevat asennukset vanhassa koestuskentässä
- vanhan koestuskentän purku ja loput asennukset.

#### 4.4.1 Valmistelevat asennukset vanhan kentän rinnalla

Asennukset aloitettiin koestuskentän toimintaa häiritsemättä uuden muuntajahuoneen kalustamisella ja kytkennöillä. Tilaan sijoitettiin aikaisemmin huolletut ja koestetut säätö- ja nostomuuntajat sekä kentän nousuja suojaava jakokeskus JK1. Tilan rakenteissa tuli huomioida sähkötilalta vaadittava eristävä lattiamateriaali, valaistus, pistorasia hätävalolle, ovien toiminta ja huoltotilojen riittävyys.

Suunnitteluvaiheessa oli päätetty käyttää vanhoja kaapelointeja hyväksi uudessa toteutuksessa. Korjaamohallin seinustalla kaapelihyllyillä kulkevat MCMK3x185+95-kaapelit laskeutuvat hallin seiniltä lattian alittaviin 110 mm:n muoviputkiin päätyen vanhan koestuskentän laidalla olevaan kaapelikaivoon. Kaapelit todettiin hyväkuntoisiksi ja kuormitettavuudeltaan riittäviksi, joten asennettavaksi jäivät ohuempat MCMO 7x1,5S-ohjauskaapelit muuntamotilan ja koestuskentän välillä. Kaapelihyllyt oli asennettu kulkemaan hallin isojen etelään suuntautuvien ikkunoiden editse, joten hyllyjen ulkoreunaan päätettiin asentaa varjostuspellit. Tällä toimenpiteellä saatiin kaapeleiden mitoituskannan lämpötilakerrointa pienemmäksi. Kuvassa 6 on näkymä kaapelihyllylle jossa varjostuspellit asennettuna.



Kuva 6. Ohjauskaapeleiden veto hyllylle

Vanhan koestuskentän vieressä oleva tarvikevarastotila tyhjennettiin ja uuden keskuksen rakentaminen aloitettiin tuohon tilaan suunnitellun layoutin (liite 1) mukaisesti. Laitteisto oli suunniteltu asennettavaksi kahteen riviin laitteiden selät vastakkain ja kaapeloitavaksi alakautta. Koska tilassa ei ollut kaapelikuiluja, jouduttiin rakentamaan tukeva koroketeline kaapelointia varten. Teline kiinnitettiin tukevasti lattian ja uusi ohjauskeskus, taajuusmuuttajat sekä muut sähkökaapit asennettiin korotuskehikoiden päälle (kuva 7).



Kuva 7. Pinta-asenteinen kaapelikuilu ja sen päälle sijoitetut laitteet

Ohjauskeskuksen eri jännitteisten kenttien silmämääräistä erottamista toisistaan parannettiin maalaamalla selvät keltaiset rajat kennoston oviin. Samassa yhteydessä asennettiin sinisuodin puhaltimiseen, DCS500 tasavirtakäyttö sekä ACS880 niille varattuihin kaappeihin asennusohjeiden mukaisesti. Sace XT4 -katkaisijoihin jälkitoimituksena saapuneiden alijännitereleiden asentaminen suoritettiin lopuksi. Laitteiden asennuksen yhteydessä varmistettiin, että niissä ei näy kuljetuksen aikaisia vaurioita sekä mitattiin jakokeskuksen eristysresistanssin varmuuden vuoksi.

#### 4.4.2 Valmistelevat asennukset vanhassa koestuskentässä

Valmistelevina asennuksina vanhan koestuskentän alueella suoritettiin Sami B - taajuusmuuttajan purku sekä keskijännitemuuntajan sijoittamiseen uuteen muuntajakoppiin. Tämän jälkeen päästiin asentamaan rasiakeskus RAK1 (kuva 8) sekä rakentamaan tarvittavat kaapelitiet uudelle keskukselle.



Kuva 8. Keskijännitemuuntaja sekä rasiakeskus RAK1

Ohjauskeskuksen, keskijännitemuuntajan, rasiakeskuksen sekä taajuusmuuttajien väliset kaapeloinnit tehtiin suunnitelmien mukaan. Asennusten yhteydessä kiinnitettiin huomiota kaapeleiden kiinnityksiin ja liitoksiin. Putkikaapelikenkien puristusliitokset tehtiin ohjeiden mukaisesti. Kisko- ja kojeliitokset kiristettiin momenttiin joko yleisen ohjeen mukaisesti (D1-2012, 240 - 242) tai laitevalmistajan ohjeiden mukaan mikäli sellainen oli annettu. Taajuusmuuttajien liitäntäkaapeleiden läpivientien 360° EMC-suojaus toteutettiin laitteiden asennusohjeiden mukaisesti. Kaapelointien eristysresistanssimittaukset tehtiin kun kaapelit oli asennettu ja osin kytketty. Taajuusmuuttajien käyttöohjeen mukaan moottorilähdön kaapeli ei saa olla kiinnitettynä kiskostoon, jotta mittausjännite ei vaurioittaisi laitteistoa. (ABB Oy 2013)



#### 4.4.3 Vanhan koestuskentän purku ja loput asennukset

Vanhan keskuksen purku ja syöttöjen kääntö aloittivat huoltokatkoksen. Tässä vaiheessa työssä vaadittiin kahta asentajaa työn vaativuuden sekä aikataulussa pysymisen vuoksi. Sähköpääkeskukselta kentälle menevät vanhat kaapelit katkaistiin ja käännettiin uuden muuntamohuoneen lähtöihin. Muuntamohuoneelle vedettiin uudet syöttökaapelit sähköpääkeskukselta. Työn vaarallisin osuus oli vanhojen kaapeleiden purku ja uusien kaapeleiden liittäminen kennoissa oleviin kytkinvarokkeisiin (kuva 9). Vanhan keskuksen avoin rakenne sekä kytkinvarokkeen jännitteiset syöttöliittimet vaativat kirjallisen työohjeen, jännitteisten osien asianmukaisen suojaamisen sekä tehtävään pätevöityneen asentajan.



Kuva 9. Sähköpääkeskuksen lähtöjen kennot

Ohjauspulpetin (kuva 10) asennus ja ohjauskaapeleiden kytkennät muodostivat ison ja työllistävän kokonaisuuden. Samalla suoritettiin turvaporrtien sekä hätäseis-

painikkeiden asennukset ja kaapeloinnit. Järjestelmässä oli sekä 24 V:n että 230 V:n ohjausjännitteitä ja yleensä lähekkäisissä riviliittimissä. Kuorittujen kaapeleiden peruseristyksen varassa olevien johdinten reititykset erilleen toisistaan vaati asennuksissa erityistä huomiota. Laitteiston alle rakennettu kaapelointitila vaati tarkkuutta erityisesti taajuusmuuttajien moottorikaapeleiden ja heikkovirtaisten ohjauskaapeleiden saamiseksi riittävän etäälle toisistaan.



Kuva 10. Ohjauspulpetti toiminnassa.

Viimeinen vaihe ennen käyttöönottoa oli pistorasioiden asennus sekä maadoitusten ja lisäpotentiaalintasausten kaapelointi. Rakennettujen lisäaitojen maadoitusten yhteydessä todettiin, että kentän metallisten porttien potentiaalintasaus ei ollut luotettava johtuen saranoiden vaihtelevasta johtavuudesta. Tilanne korjattiin yhdistämällä saranoidut portit kaapelilienkillä maadoitettuun aitaosaan. Lopuksi maadoitus- ja potentiaalintasausjohtimet merkittiin vaatimusten mukaisesti tunnistamisen helpottamiseksi.

#### 4.5 ABB:n AC500 -logiikka ja kenttäväylä

Määrittelyvaiheessa asetettiin tavoitteeksi, että järjestelmän ytimenä on ohjelmoitava logiikka, joka pystyy lukemaan ja ohjaamaan kytkinlaitteita sekä taajuusmuuttajia kenttäväylän kautta. Työn rajauksessa logiikalle tulevan ohjelmiston laajuutta rajattiin pelkästään mittatietojen monitorointiin HMI-näytöllä. Tässä osiossa kuvataan käytetty logiikka-

ka ja väyläratkaisu sekä ohjelmiston toteutuksen pääkohdat. Ohjelmiston määrittelyvaiheessa tavoitteeksi laitettiin, että näytölle tulisi saada luettua väylän yli seuraavat tiedot:

- katkaisijoiden vaihevirrat ja pääjännitteet
- katkaisijoiden tilatiedot
- taajuusmuuttajien moottorivirrat
- taajuusmuuttajien nopeus
- taajuusmuuttajan taajuusohje
- taajuusmuuttajan momentti
- tasavirtakäytöstä ankkuri- ja magnetointivirrat sekä ankkuri- ja magnetointijännite.

Lisäksi testattavien moottoreiden parametrit tulisi pystyä kirjoittamaan graafisen käyttöliittymän kautta ja alustamaan valitulle taajuusmuuttajalla.

#### **4.5.1 Kenttäväylä Modbus-RTU**

Kenttäväyliä käytetään teollisuudessa logiikoiden ja hallittavien laitteiden väliseen kommunikointiin ja tiedonsiirtoon. Kenttäväylistä Modbus on yksi vanhimmista ja erittäin laajasti käytetty. Modicon kehitti Modbusin vuonna 1979 alun perin omien logiikoidensa liittämiseen. Modbus on avoimeen arkkitehtuuriin perustuva tiedonsiirtoprotokolla, jossa voi olla yksi isäntälaitte ja maksimissaan 247 orjalaitteita. Siinä on toteutettuna OSI-mallin mukaiset tasot 1 (fyysinen), 2 (siirtoyhteys) ja 7 (sovellus). Protokollan siirtokerrosten perusteella on varioituina kolmea eri toteutusta; sarjaväylään perustuvat Modbus-RTU (Remote Terminal Unit) ja Modbus-ASCII sekä Ethernetiin liitettävä Modbus-TCP/IP. (Piikkilä & Sahlsten 2006)

Modbus-RTU protokollan pohjalta toteutettu sarjaväylä voi olla topologialtaan vain kahden laitteen välinen yhteys käytettäessä RS-232-järjestelmää tai yhdeltä monelle tyyppinen yhteys käytettäessä RS-485-järjestelmää. Monipisteisessä järjestelmässä isäntälaitte lähettää luku- tai kirjoitusviestin aina yhdelle laiteosoitteelle kerrallaan. Kaikki väylässä olevat laitteet kuulevat viestin mutta vain osoitettu orjalaitte toteuttaa sen määrittämän toiminnon ja lähettää kuittauksen. Väylän maksiminopeus on 187,5 kilotavua



[illegible]

Kuva 11. Väyläkaapelointi (Seppänen 2014)

CPU-yksikölle ja jokaiselle orjalaitteen väyläsovittimelle aseteltiin liikennöinti-parametrit seuraavasti:

- nopeus: 19200 bits/s
- databitit: 8
- pariteettibiti: EI

- stop bits: 1

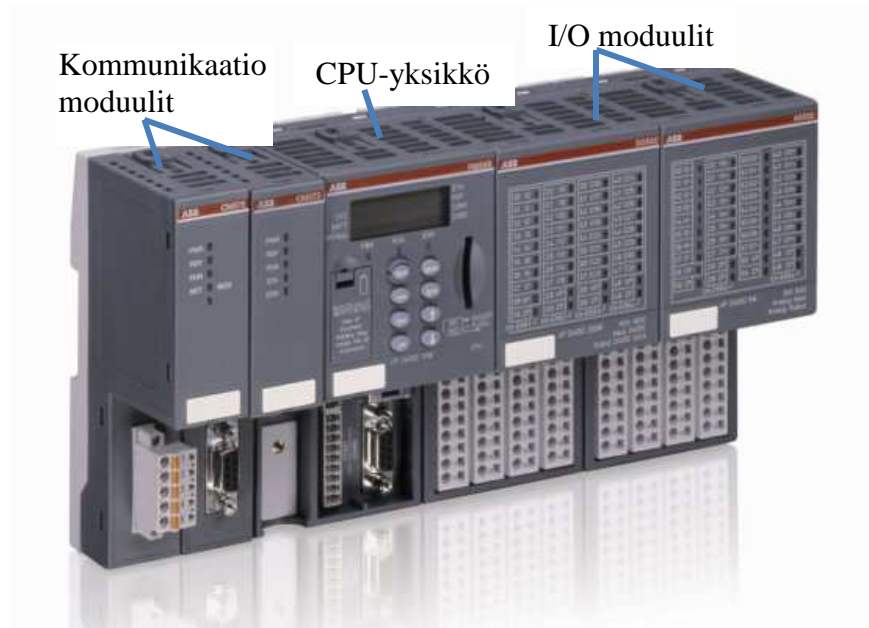
Lisäksi jokaiselle orjalaitteelle asetettiin oma, juokseva osoitenumero. Siirtonopeuden raja määräytyi Sace Tmax -katkaisijoiden tukeman suurimman nopeuden mukaisesti (ABB Oy 2009). Siirtonopeus on melko pieni, mutta riittää toteutetun mukaiseen monitorointiin.

#### **4.5.2 ABB:n AC500-logiikka**

Logiikaksi valittiin ABB:n AC500-sarjan laitteet, jotka ovat edullisia suhteessa niiden tarjoamiin ominaisuuksiin. Prosessorin kellotaajuus ja käytössä oleva muisti riittävät koestuskentässä tarvittavaan toteutukseen. Modulaarisen rakenteensa vuoksi siihen on tarpeiden kasvaessa helppo lisätä laajennusmoduuleita. Alla olevassa kuvassa (kuva 12) on esitetty tyypillinen peruskokoonpano. CPU-yksikkö on järjestelmän ydin ja sen ympärille lisätään tarvittavia moduuleita. Kommunikaatiomoduuleilla saadaan logiikka kytkettyä kaikkiin yleisimpiin teollisuusväyliin:

- Ethernet
- EtherCAT
- PROFINET
- PROFIBUS DP
- CANopen
- DeviceNet
- Modbus TCP
- Modbus-RTU
- sarja
- ABB CS31
- langaton liitäntä

I/O-moduulivalikoimasta löytyy yksiköitä hyvinkin vaativien sovellusten toteutukseen. Edullisemmat ACS500-eCo-sarjan moduulit ovat myös täysin yhteensopivia AC500-yksiköiden kanssa. (ABB Oy 2014, Hakupäivä 11.3.2014)



Kuva 12. Tyypillinen AC500 peruskokoonpano

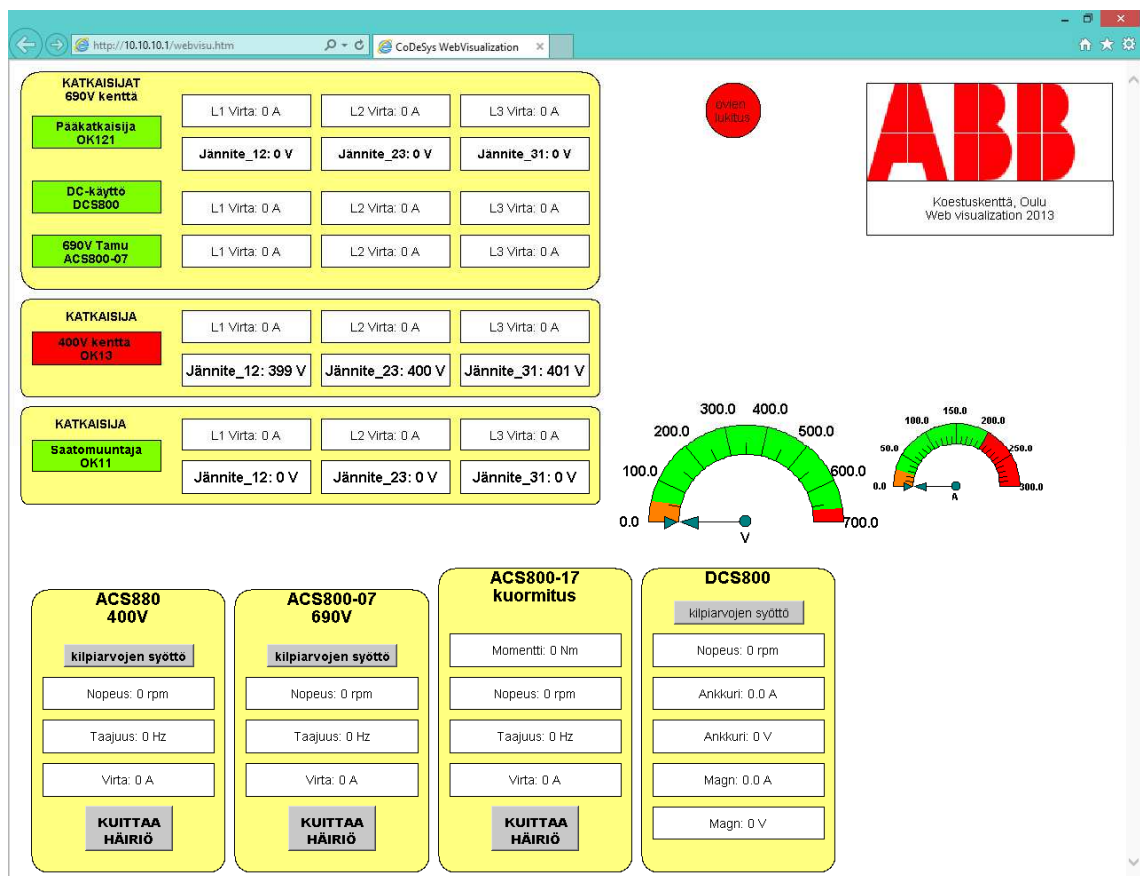
Toteutukseen valittiin AC500 PM573-ETH, jossa tärkeimmät ominaisuudet ovat

- käyttäjän ohjelmamuisti 512kB
- käyttömuisti 512kB
- tuki SD-muistikortille
- sisään rakennettu WEB-palvelin, jossa muistia 1024kB
- tuki enintään 10 I/O moduulille
- 2kpl COM-portteja tukien RS232/RS485 sarjaliikenteitä
- sisäänrakennettu Ethernet ja RJ45 liitin
- LCD tilanäyttö ja 8 toimintapainiketta. (ABB Oy 2014)

Projektin käyttöönottovaiheessa I/O-moduuliksi lisättiin DX522, jossa on 8 digitaalista tuloa sekä 8 digitaalista potentiaalivapaata relelähtöä. Tämä tuli tarpeesta ohjata tiettyjä merkkivaloja logiikan kautta.

Erillisiä kommunikaatiomoduuleita ei tarvittu, koska CPU-yksikön kortilla olevan COM1-portin kautta saatiin laitteisto kytkettyä RS485 muotoiseen Modbus-RTU-väylään. Sisäänrakennettu ethernet-väylä ja RJ45 liitin mahdollistivat logiikan helpon kytkemisen ohjelmoinnissa ja monitoroinnissa käytettävään tietokoneeseen. Laitteen sisään rakennettu WEB-palvelin mahdollisti käyttöliittymän toteuttamisen ilman ulkois-

ta HMI-paneelia. Kehitystyökalulla voidaan graafisesta käyttöliittymästä tehdä internet-sivusto, joka ladataan AC500:n sisäiselle WEB-palvelimelle. Käyttöliittymän saa kätevästi koestuskentän tietokoneen näytölle normaaliin internetselaimeen (kuva 13). Palvelimen muistin koosta johtuvana haittapuolena on yksinkertaisempi grafiikka mitä erilliselle HMI-paneelille saataisiin. Paremman grafiikan ja monipuolisemman käyttöliittymän saisi toteutettua Panel Builder 600 -ohjelmistolla. Tällöin käyttöliittymän ohjelmisto asennetaan HMI-paneelille, mistä se huolehtii datansiirron CPU-yksikön kanssa Ethernet yhteyden välityksellä.

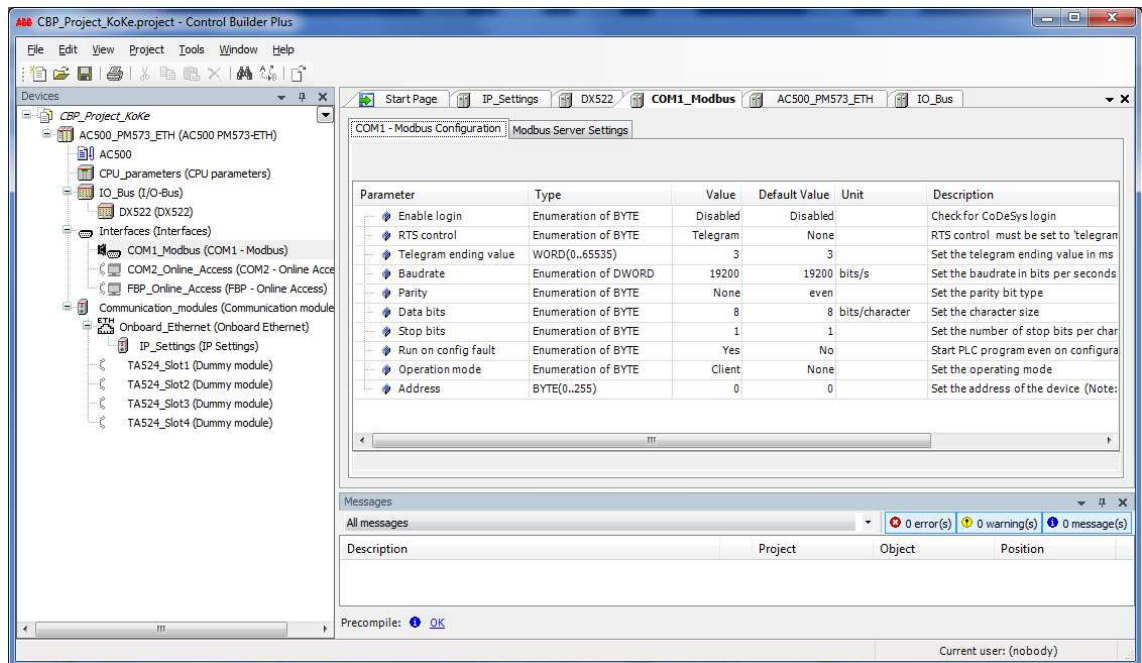


Kuva 13. Graafinen käyttöliittymä internetselaimen ikkunassa

#### 4.5.3 Kehitysympäristö ja ohjelmisto

ABB:n logiikoiden kehitysympäristönä toimii Control Builder Plus 2.3.0 -ohjelmisto. Control Builder plus ohjelmistossa määritellään käytetty laitteisto sekä alustetaan sisäinen IP-verkko, sarjaliikenneväylä, I/O-moduulit ja parametrisoidaan CPU-yksikkö. Kuvassa 14 on näkymä Modbus-RTU-väylän asetteluista. Ohjelmiston mukana tulee erittäin hyvät sähköiset käyttöohjeet, jotka löytyvät help-valikosta. Myös Youtube-

videopalvelusta löytyy ABB:n tekemiä videoita käyttööheita. Näiden avulla laitteistoon, sen alustukseen sekä ohjelmointiin on helppo päästä sisälle.



Kuva 14. Control Builder Plus ohjelmisto ja Modbus-RTU väylän määrittely

Ohjelmiston kehitystä varten kehityspaketin mukana tulee kaupallinen CoDeSys:n valmistama kehitysympäristö, jonka ABB on integroinut osaksi Control Builder Plus -ohjelmistoa. Kehitysympäristössä kirjoitetaan itse ohjelmistolohko sekä tehdään tarvittavat graafiset näkymät käyttöliittymään. Erityisen kätevä on työkalun tarjoama reaaliaikainen ja monipuolinen testiajo mahdollisuus. Ohjelmiston testausta voidaan myös ajaa simulointimoodissa, jolloin tietokoneen ei tarvitse olla kytkettynä logiikkaan. Kuvasssa 15 on näkymä CoDeSys:n kehitystyökalusta. Näkymässä on avoinna kaksi ohjelmistoelementtiä sekä graafisen näkymän editori.

CoDeSys tukee kaikkia standardin IEC-61131 mukaisia logiikan ohjelmointikieliä.

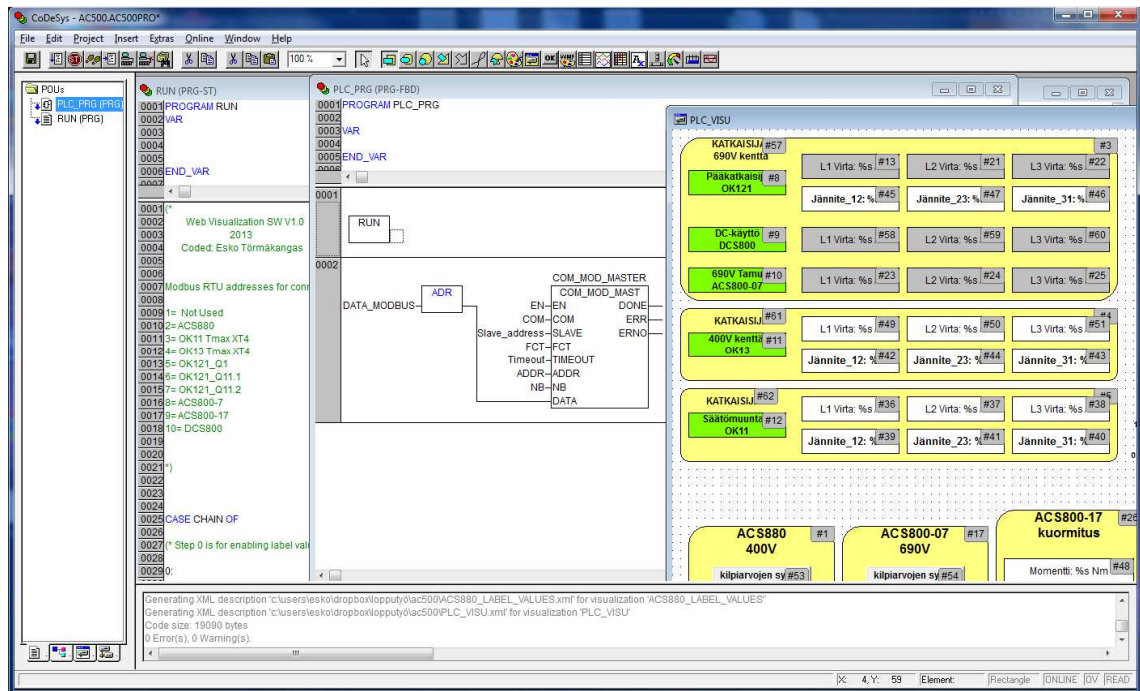
Tekstimuotoisista ohjelmointikielistä tuettuina ovat:

- Instruction List (IL)
- Structured Text (ST)

Graafisista ohjelmointikielistä tuettuina ovat:

- Ladder Diagram (LD)
- Function Block Diagram (FBD)

- Sequential Function Chart (SFC)
- Continuous Function Chart (CFC)



Kuva 15. CoDeSys kehitysympäristö

Tässä työssä toteutuskieleksi valittiin Structured Text (ST), joka on korkean tason ohjelmointikieli ja muistuttaa rakenteeltaan perinteistä C-kieltä. Modbus-RTU-väylän kommunikaatiokomponentti COM\_MOD\_MASTER löytyi valmiina kirjastokomponenttina ja se toteutettiin kokeilun vuoksi graafisella FBD-kielellä. Kommunikaatiokomponenttia kutsutaan ST-kielellä toteutetusta pääohjelmasta. Käytetyt muuttujat määriteltiin GLOBAL\_VARIABLE tyyppisiksi, jolloin ne näkyvät kaikille ohjelmiston komponenteille.

Modbus-RTU-väylän isäntä-orja rakenteesta johtuen pääohjelman ohjelmisto toteutettiin syklisenä kiertona. Tällöin ohjelma kutsuu kutakin laitetta vuoron perään ja lukee halutun tiedon, jotka päivittyvät välittömästi HMI-näytölle. Mahdollista virhetoimintoa varten ohjelmasyklin loppuun tuli lisätä virheenkäsittelyosio. Parametrien kirjoittaminen taajuusmuuttajille tehdään vain käyttäjän pyytäessä tätä HMI-paneelilta. Modbus-RTU-protokollan välityksellä luettaessa ja kirjoitettaessa tulee toimenpide tehdä aina yhtenäiselle osoitealueelle. Katkaisijoissa haluttu tieto oli eri puolilla rekisteriavaruutta, joten samalle laitteelle piti tehdä useampi luku. Väylässä oli kytkettynä yhteensä 9 orjalaitetta, mikä kasvattaa viivettä aina kullekin laitteelle tehtävien lukujen välillä. Viive

pysyi kuitenkin siedettävissä rajoissa ja luettujen lukemien päivittyminen HMI-näytölle oli jouhevaa. Toteutetun ohjelmistokoodin ja sen muuttujalistauksen tulosteita ei liitetä tämän työ julkiseen versioon, koska ne sisältävät yrityksen sisäistä tietoa.

## 5 KÄYTTÖÖNOTTO JA TEHDYT TARKASTUKSET

Projektin loppu- ja toimitusvaihetta seuraa käyttöönottovaihe, jonka yhteydessä varmistetaan, että kaikki projektin vaatimukset täyttyvät ja järjestelmä toimii odotusten mukaisesti. Sähköturvallisuuslain edellyttämät käyttöönottomittaukset ovat osa tätä vaihetta. Aistinvaraiset tarkistukset on tehty pääosin asennusvaiheessa samoin kuin osa mittauksista mutta ne tulee vetää yhteen käyttöönottovaiheessa laadittaviin tarkastuspöytäkirjoihin. Käyttöönottovaiheeseen sisältyy myös taajuusmuuttajien parametrisoinnit ja katkaisijoiden asettelut testauksineen. Käyttökoulutus huolto- ja käyttöohjeineen sisällytetään tässä työssä osaksi käyttöönottovaihetta. (PSK-2920 2010)

Käyttöönoton edellytyksenä on, että laitteistoon on kytketty jännitteet parametrien asetelua ja testien suorittamista varten. Ennen jännitteiden kytkemistä tuli varmistaa, että se voitiin tehdä turvallisesti. Turvallisuus varmistettiin jännitteettömänä tehtävillä käyttöönottomittauksilla sekä aistienvaraisilla tarkastuksilla. Jännitteiden kytkemisen jälkeen otettiin käyttöön yksi kokonaisuus kerrallaan sekä tehtiin niille sähköiset ja toiminnalliset testit.

### 5.1 Tarkastukset ja mittaukset jännitteettömänä

Aistienvaraisesti oli koko asennustyön ajan tarkistettu, että asennukset on tehty voimassa olevien määräysten mukaisesti sekä noudattaen laitevalmistajien antamia ohjeita. Tiettyihin asioihin kiinnitettiin asennusten aikana erityistä huomiota:

- Varmistettiin johtimien kiinnitykset kaapeliteille sekä läpiviennit ja suojaukset mekaanisilta vaurioilta.
- Koska käytössä oli useita eri jännitealueita, piti varmistaa, että johtimien luokitus riittää myös 690 V:n alueelle. Esimerkiksi MMJ kaapeli on pienemmillä halkaisijoilla yleensä tyypitetty vain 300/500 V:n alueelle.
- Kaapeleiden ja johtimien värijärjestykset, liitännät oikeille riviliittimille sekä merkinnät tarkistettiin. Alkuperäiset asennukset olivat vanhalla kaapelivärijärjestelmällä mikä tuli huomioida jatkoksissa ja kaapeleiden käännoissä.



- Liitosten tekotapa ja oikea momentti tarkistettiin sekä varmistettiin sormisuojausten paikallaan olo.
- Maadoitusten, potentiaalintasauksen ja PEN johtimien kiinnitykset ja merkinnät tarkastettiin.
- Napaisuuden katkaisua ei järjestelmässä tarvinnut tarkistaa kuin johdonsuojien osalta sekä muuntamohuoneen valokatkaisijalla.

Testauksiin kuuluvat mittaukset suoritettiin Fluke 1653B -asennustesterillä:

- Suojaamaan sekä potentiaalintasauksen jatkuvuudet mitattiin apujohdinta käyttäen. Pitkillä matkoilla mittauksessa oli apuna viereisen kaapelin suojamaajohdin.
- Kaapeleiden eristysresistanssit mitattiin sekä vaiheiden väliltä että maata vasten ja dokumentoitiin. Esimerkkisivu laadituista kaapeleiden eristysmittauspöytäkirjoista on liitteenä 5. Samalla mitattiin kentän normaalit pistorasiat. Mittausjännitteinä käytettiin 500 V:a paitsi 690 V:n piireissä, missä mittausjännite oli 1000 V:a.
- Järjestelmän ohjausjännitteitä syöttävän omakäyttömuuntajan (400V/230V) ensiön ja toisin välinen eristysvastus mitattiin samoin kuin 24 V:n DC-ohjausjännitettä syöttävän muuntajan.

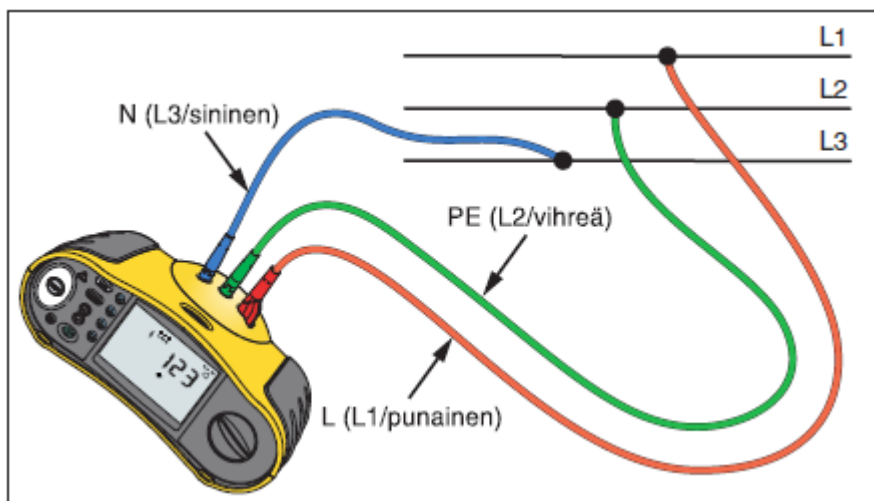
## 5.2 Testaukset ja mittaukset jännitteellisenä

Jännitteet kytkettiin ensin päälle 400 V:n kenttään OK13 ja suoritettiin tarvittavat mittaukset. Tämän jälkeen jännitteet kytkettiin säätömuuntajakenttään OK11 ja viimeiseksi nostomuuntajalla syötettyyn 690 V:n kenttään. Kullekin ohjauskeskuksen kentälle suoritettiin vaadittavat mittaukset heti jännitteiden kytkemisen jälkeen.

Syötön automaattisen poiskytkennän toiminnan varmentaminen tehtiin keskusten osalta laadittujen oikosulkuvirtalaskelmien avulla. Tarkistuksessa todettiin, että toteutuksen sulakkeet, kaapelityypit ja niiden pituudet vastaavat suunnitelmia. Tällöin voitiin olettaa, että syötön poiskytkentä vikatapauksessa tapahtuu vaadituissa ajoissa.

Ohjauskeskuksen 400 V:n kenttään OK13 liitettyjen pistorasioiden osalta suoritettiin varmentavat oikosulkuimpedanssien mittaukset Fluke 1653B -asennustesterillä. Mittaustulosten havaittiin olevan kunnossa suhteessa laskennallisiin arvoihin. Oikosulkuvirtojen todettiin riittävän ihan reilusti laukaisemaan käytetyt johdonsuojakatkaisijat standardin vaatimissa aikarajoissa. Koestuskentän pistorasiat olivat kaikki 30 mA:n vikavirtasuojilla varustettuja, joten suojien toiminta varmennettiin saman mittauksen yhteydessä. Sekä toiminta-aikojen että toimintavirtojen todettiin olevan kunnossa ja saadut arvot kirjattiin mittauspöytäkirjaan.

Moottorien testauspaikan ollessa kyseessä on vaihejärjestyksen eli kiertosuunnan oikeellisuus erittäin tärkeää. Asennustesterin johtimet kytkettiin (kuva 16) ensin kunkin jännitekentän pääkatkaisijan liitinnapoihin ja suoritettiin mittaukset. Tämän jälkeen vastaava mittausta suoritettiin kunkin ohjauskeskuksen kustakin lähdöstä. Tällä varmistettiin, että keskuksen sisäiset johdotukset lähdöille asti olivat kytketty oikein. Taajuusmuuttajien ja rasiakeskuksen kaapelointivaiheessa oli johdinten värijärjestys tarkastettu aistinvaraisesti, joten voitiin olettaa kiertosuunnan olevan oikea myös syötetyillä laitteilla. Rasiakeskuksen RAK1 kolmivaihepistokkeista tehtiin vielä kiertosuunnan mittaukset niiden oikean kytkennän varmistamiseksi. Keskusvalmistajat tosin testaavat keskuksia ennen asiakkaalle toimittamista, joten niiden tulikin olla oikein kytkettyjä.



Kuva 16. Kiertosuunnan mittausta Fluke 1653B -asennustesterillä

Katkaisijoiden asettelujen ja testausten jälkeen sekä mittaustulokset että aistinvaraisen tarkastuksen lopputulokset kirjattiin ABB:n käyttämään tarkastuspöytäkirjapohjaan. Jokaisesta ohjauskeskuksen itsenäisestä jännitekentästä laadittiin oma käyttöönottopöytä-

täkirjansa. Liitteessä 2 on esimerkkinä ohjauskeskuksen OK13 käyttöönottopöytäkirja sekä samasta keskuksesta tehty kaapeleiden ja kojeiden tarkastuspöytäkirja.

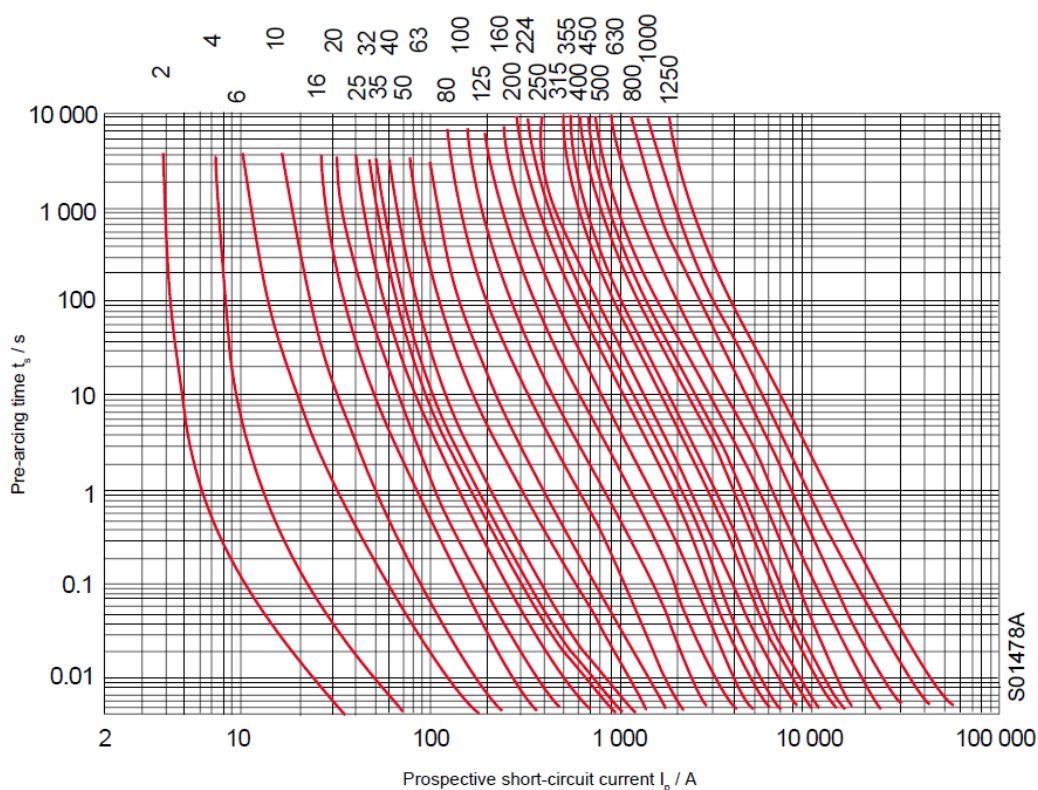
### 5.3 Releiden asettelut

Ohjauskeskuksen kunkin kentän pääkytkimenä sekä ACS800:n ja DCS800:n lähdöissä suojalaitteena toimivat ABB:n Sace -kompaktikatkaisijat. Katkaisijat on varustettu moottoriohjaimella, joten ne voidaan etäohjata auki ja kiinni ohjauspulpetista OP. Kaksi näistä on uusia 250 A:n nimellisvirrallisia Sace Tmax XT4 -sarjan katkaisijoita varustettuina Ekip E-LSIG elektronisilla releillä. 690 V:n kentässä sijaitsevat kolme katkaisijaa ovat Sace Tmax T5 -sarjan laitteita nimellisvirraltaan 630 A:a ja varustettuina PR223DS elektronisilla releellä sekä laajemmat sähköisten suureiden mittaukset mahdollistavalla VM210 mittayksiköllä. Kaikissa katkaisijoissa oli alijännitekela hätäpysäytyksen laukaisua varten sekä Modbus-RTU-sarjaväylän mahdollistava kommunikaatiomoduli. (ABB Oy 2008)

Ekip E-LSIG sarjan releen karkean tason perusasettelut pystyi tekemään etupaneelissa olevilla kytkimillä. Ekip T&P -työkalulla ja PC:lle asennettavalla Ekip Connect 2.0 -ohjelmistolla pystyi katkaisijoille tekemään tarkemmat ja laajemmat asettelut sekä ajamaan erilaisia testejä. PR223DS-releessä ei ollut manuaaliasettelujen mahdollisuutta joten huoltotyökalun käyttö oli välttämättömyys. Releet tukivat perinteisiä L-, S-, I- ja G- suojaustoimintoja. Lisäksi Ekip E-LSIG -releessä olivat ylijännite- (OV) ja alijännite (UV) suojaukset.

Katkaisijoiden käyttö keskuksen kenttien pääkatkaisijoina asetti erityisiä vaatimuksia niiden aseteluille. Ohjauskeskusten kenttiä syöttävät johdot oli suojattu 250 A:n gG sekä 690 V:n osalta 250 A:n aM kahvasulakkeilla. Sulakkeiden toimintakäyrien perusteella tuli katkaisijoiden asettelut tehdä siten, että suojauksen selektiivisyys toteutuu. Tämä tarkoittaa sitä, että katkaisijoiden tulee kuormitus- ja oikosulkutilanteissa toimia ennen niitä edeltäviä sulakkeita. Oikosulku- sekä ylikuormitussuojauksen mitoituksen lähtökohtana toimivat kahvasulakkeiden toimintakäyrät (kuva 17). OK13:sta 400 V:n syötön suojana sähköpääkeskuksessa ovat 250 A:n gG-kahvasulakkeet OFAF2H250. Sulakkeiden jänniteluokka on 500 V:a ja kokoluokka 2. Valmistajan tuoteluettelosta löytyvän

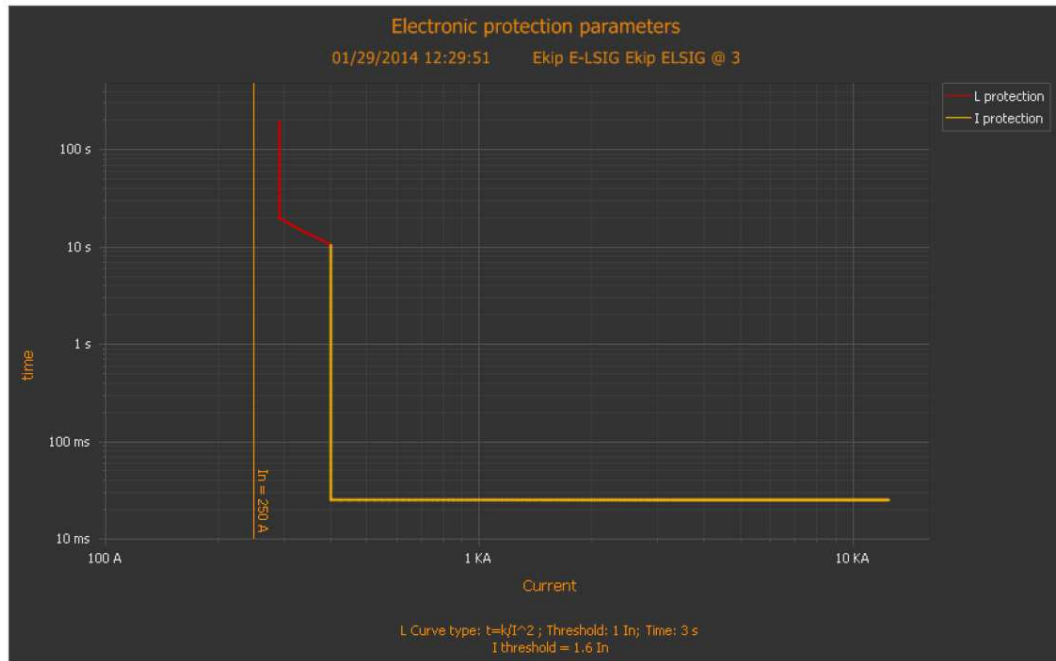
aika-virta käyrästä (kuva 17) nähdään 250 A:n käyrän kohdalta, minkä yli katkaisijan asettelut eivät saa mennä.



KUVA 17. gG-sarjan 500 V:n kahvasulakkeiden toimintakäyrästä

OK13 kentästä syötetään ACS880 taajuusmuuttajaa, jonka nimellisvirta on 500 A. 400 V:n syöttöä on siis mahdollista ylikuormittaa ohittamalla taajuusmuuttajan virtarajat. Kaapelin ylikuormituksen estämiseksi katkaisijan ylikuormitussuoja L aseteltiin 250 A ja viiveparametriksi 3 s. Oikosulkulaukaisun raja asetettiin hyvin matalalle, 400 A:iin. Keskusta voi siis ylikuormittaa hetkellisesti oikosulkulaukaisuun asti kuormitusajan lyhentyessä suhteessa virtaan. Asetetuilla arvoilla hieman yli 250 A:n virtaa katkaisija päästää läpi noin 30s ennen katkaisua. Ekip Connect 2.0 -ohjelmistotyökalu mahdollistaa asettelujen tarkistelemisen graafisena esityksenä (kuva 18).

Kaksi muutakin ohjauskeskuksen kenttien pääkatkaisijaa aseteltiin vastaavalla tavalla. 690 V:n kentässä olevat ACS800 ja DCS800 käyttöjen syöttöjä suojaavien katkaisijoiden kuormituslaukaisut laitettiin huomattavasti korkeammalle tasolle, koska verkkoon jarruttava taajuusmuuttaja palauttaa osan tehosta takaisin 690 V:n kenttään. Kentän sisällä voi näin ollen kiertää suuremmat virrat mitä syöttävästä verkosta on mahdollista ottaa.



Kuva 18. OK 13-katkaisija-asettelut

Ekip Connect -työkalusta löytyy katkaisijoiden testitoiminto, jolla releelle syötetään virtuaalista mittatietoa ja seurataan tapahtuuko laukaisu asetusten mukaisesti. Ohjelmalla testattiin kaikki viisi katkaisijaa ja niiden todettiin toimivan odotetulla tavalla.

#### 5.4 Turvajärjestelmien testaus

Kun keskuksiin oli saatu jännitteet ja katkaisijoiden suojausasetukset toimimaan oli vuorossa turvallisuuteen liittyvien elementtien testaaminen, jotta standardin SFS-EN-50191 mukaiset vaatimukset täyttyisivät. Koekentän turvallisuuteen ja suunnittelun perusteeksi oli kenttään laadittu standardin SF-EN 1050 mukainen vaaratekijäluettelo sisältäen ennaltaehkäisevien toimenpiteiden luettelon. Kyseistä listaa oli laajennettu sähkölaitekorjaamoita ja laboratorioita käsittelevän standardin SFS-6000-8-803 tuomilla vaatimuksilla. Näiden pohjalta suoritettiin soveltavat testit halutun toiminnallisuuden varmistamiseksi.

Ovien sähkölukot ja rasiakeskuksen ovirajat todettiin toimivat halutulla tavalla. Kentän moottorilähtöihin eivät jännitteet menneet päälle ennen kuin kaikki ovet olivat suljettuihin ja sähkölukot aktivoituneina. Myös rasiakeskuksen tai keskijännitemuuntajan jännit-

teisten kiskojen suojana olevien luukkujen tuli olla kiinni. Ovien lukittumisen jälkeen syttyivät punaiset varoitusvalot vaatimusten mukaisesti

Hätäpysäytys mistä tahansa painikkeesta sai katkaisijoiden alijännitereleet toimimaan ja katkaisemaan kaiken sähköenergian pistorasioista sekä taajuusmuuttajilta. Suoritetusta hätäpysäytyksestä annettiin myös äänimerkki. Tässä vaiheessa havaittiin, että hätäpysäytys ei vapauttanut ovien sähkölukkoja, mikä oli huono asia tapaturman sattuessa. Suunnittelijan kanssa mietittiin turvalogiikkaan tarvittavat muutokset, joilla ovet saataisiin avautumaan hätäpysäytyksen yhteydessä.

### 5.5 Taajuusmuuttajien parametrisointi

Taajuusmuuttajien käyttöönotossa laitteeseen asetellaan toimintaympäristön ja kohdesovelluksen vaatimat parametrit sekä testataan toiminta koeajoilla. Taajuusmuuttajilla käsitetään yleisesti oikosulkumoottoreiden ohjaamiseen tarkoitettuja laitteita. Tässä käyttöönotossa ryhmään kuuluivat ACS800-07, verkkoon jarruttava ACS800-17 sekä moduulimallinen ACS880-04. Näiden käyttöönotto suoritettiin ohjauspaneelin kautta. Vaihtoehtona olisi ollut parametrisointi PC:n avulla käyttäen Drive Window -ohjelmistoa ja valokuitulinkkiä. Käyttöönoton hetkellä tarvittavaa USB-valokuituadapteria ja ohjelmistoa ei ollut käytävissä.

Taajuusmuuttajan laiteoppaasta löytyy tarkistuslista käyttöönottoa varten. Listan mukaisesti tarkistetaan mekaaniset ja sähköiset asennukset minkä jälkeen asetellaan sovelluksen vaatimat parametrit sekä tehdään koeajot. (ABB Oy 2013, 86.)

Verkkoon jarruttava ACS800-17 oli kytketty kiinteästi jarrugeneraattorina toimivaan 650 kW:n oikosulkumoottoriin joten tässä yhteydessä tehty käyttöönotto vastasi pitkälti normaalia teollisuudessa tehtävää. Moottorille ajettiin ID-ajot sekä aseteltiin virtarajat. Kuormakoneen ohjausmakroksi asetettiin momenttisäätömakro ja ohjaustavaksi DTC (Direct Torque Control) jolloin moottorin ohjausarvo on kierrosnopeus. Seuraavaksi alustettiin ohjauspulpetilta tulevat digitaaliset ja analogiset ohjaustulot sekä relelähtöjen toiminnot. Lopuksi aktivoitiin Modbus-RTU-väyläsovitin, aseteltiin liikennöintiparametrit sekä alustettiin väylään lähetettävät datasetit.

Testattavia moottoreita ajetaan käyttöillä ACS800-07 ja ACS880-04. Näille ei käyttöönottoaiheessa voitu asettaa kiinteitä moottoriarvoja tai virtarajoja vaan laitteiden koeajo tehtiin soveltuvalla huolletulla moottorilla. Nämä asetettiin ajamaan moottoreita skalaari-moodissa, mikä tarkoittaa suoralla taajuusohjeella ohjaamista. Ohjaus I/O:n parametrisoinnin ja toiminnan testauksen jälkeen alustettiin vielä näidenkin laitteiden Modbus-RTU-väyläsovittimet.

ACS800-07 taajuusmuuttajan lähtö kulkee haaroituskaapin läpi, missä kontaktoreilla ohjataan syöttö joko suoraan rasiakeskuksen RAK1 lähtöön tai sinisuotimen kautta keskijännitemuuntajalle. Muuntajan ensiöpuolen nimellisjännite on 380 V ja tätä vastaavat toisiojännitteet 3.15 kV, 6.3 kV ja 10.5 kV. Sinisuotimessa tapahtuu noin 10% jännitehäviö täydellä teholla. Käyttöönottestissä mitattiin, että tyypillisellä moottorikuormalla saavutettava teho aiheuttaa sinisuotimessa noin 20 V:n jännitehäviön, joten syöttävän taajuusmuuttajan lähtöjännite ei saa ylittää 400 V:a. Vaarana kuitenkin oli, että operaattori unohtaa muuttaa moottorin nimellisjännitteen aikaisemman testin jäljiltä ja muuntajalle ohjautuva 690 V:a saa aikaiseksi 19 kV:n jännitteen toisiopuolelle. Tämä voi vahingoittaa moottorin eristeitä ja itse muuntajaa. Inhimillisen virheen estämiseksi taajuusmuuttajaan laadittiin adaptiivinen ohjelmanpätkä (liite 3). Ohjelma varmistaa, että keskijännitemuuttajan haaran kontaktorin ollessa suljettuna tulee moottorijännitteen olla aseteltuna 400 V:iin sekä sinisuotimen aktivoituna parametrissa 95.04. Vasta ehdon toteutuessa se päästää käynnistyssignaalin läpi ja aktivoi lähdön.

Taajuusmuuttajien käyttöönotosta laadittiin käyttöönottopöytäkirja ABB:n omalle pohjalle. Tästä esimerkkinä on yhden käytön pöytäkirja liitteessä 4.

## 5.6 DC-käytön parametrisointi

Tasavirtakäytöksi koestuskenttään asennettiin ABB Nokian koestuskentästä saatu vanha DCS600 laitteisto. Aikaisemmassa ympäristössään laite oli ollut kytkettynä 400 V:n verkkoon. Oulun koestuskentässä syöttö tuli 690 V:n kentästä joten laitteelle jouduttiin tekemään hieman muutoksia jännitetason sovittamiseksi. Näitä olivat:

- omakäyttömuuttajan syötön muuttaminen 400 V:sta 690 V:iin
- virtamittauskortin jännitetason muuttaminen

- muuntajan (autotransformer) asentaminen magnetointiyksikön jännitesyöttöä varten
- tyristorisillan jäähdytyspuhaltimen kytkennän muutos tähteen

Ohjelmallisesti määritettiin I/O-kortille kytketyt digitaaliset ohjaustulot. Normaalisti käyttöönnotossa asetellaan sovelluksessa olevan moottorin parametrit ja turvarajat. Koestuskentän tapauksessa nämä kuitenkin muuttuvat jokaisen testattavan koneen kohdalla.

DC-käytössä oleva FEX-2-magnetointikortti todettiin sen tarjoama 16 A:n magnetointivirta hieman liian pieneksi. Käyttöönottovaiheessa tehtiin päätös laitteiston modernisoinnista ja isommalla magnetointiyksiköllä varustamisesta. ABB:n tarjonnassa olevalla DCS800-R upgrade kit päivityssarjalla laitteisto muutettiin DCS800:ksi. Samalla siihen tilattiin ulkoiseen 50 A:n magnetointiyksikkö DCF803-0050. Päivityssarja sisälsi uuden ohjainkortin, tiedonsiirtokortin sekä uuden ohjauspaneelin. Modbus-RTU linkkiä varten jouduttiin vielä hankkimaan uudempiin laitteisiin sopiva RMBA-01 väyläsovitin. (ABB Oy 2013)

DCS800 tarjosi myös tuen Drive Window Light 2-ohjelmiston käytölle RS232 sarjaportin kautta. Koestuskentän tietokone saatiin kytkettyä USB-RS232 sovittimella laitteeseen. DC-moottoreiden parametrisointi sekä virtasäätäjän kalibrointi todettiin testiajoissa olevan huomattavasti selkeämpää ja nopeampaa PC-ohjelmiston kautta tehtynä. Ohjauspaneelilta vastaavat toimenpiteet ottivat selvästi pidemmän ajan. Drive Window Light 2 -ohjelmisto mahdollistaa myös haluttujen moottoriparametrien monitoroinnin ja graafisen piirron sekä tallentamisen myöhemmin analysoitavaksi.

## 5.7 Muuntajat

Muuntajat oli huollettu ennen niiden asentamista paikoillensa. Huollon yhteydessä niiden eristysresistanssit mitattiin. Säättömuuntajasta testattiin säädintä ohjaavan moottorin, kontaktorien ja rajakytkimien toiminta sekä mitattiin muuntosuhteen pysyminen tasaisena. 400V/690V nostomuuntajasta varmistettiin myös muuntosuhde syöttämällä 400 V:a ensiöön ja mittaamalla toisio jännite. Keskijännitemuuntaja oli ollut käytössä vanhassa koestuskentässä, joten sen tiedettiin toimivan ja sille ei jännitetestiä tehty.

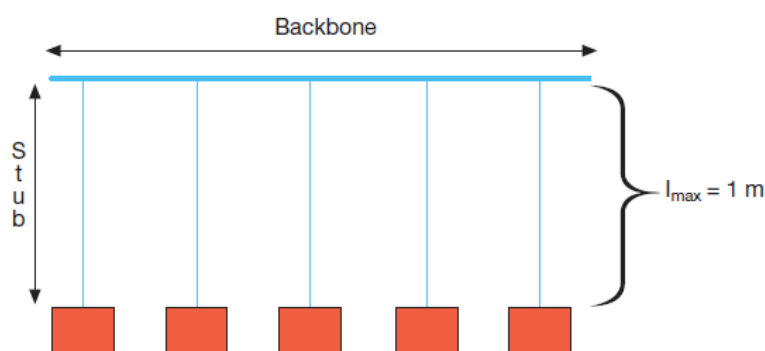


Asennuksen jälkeen mitattiin vielä kertaalleen kunkin muuntajan eristysresistanssi sekä tehtiin aistienvaarainen tarkastus ABB:n oman asennustarkastuspöytäkirjan mukaisesti. Liitteessä 6 on esimerkkinä keskijännitemuuntajan käyttöönottotarkastuspöytäkirja.

## 5.8 ABB:n AC500 PCL -logiikka ja kenttäväylä

Koestuskentän logiikan ohjelmointi tehtiin käyttöönoton yhteydessä edeten perustoinnallisuudesta yksityiskohtaisempiin ominaisuuksiin. Lopullisen ulkoasun ja toiminnallisuuden se saavutti reilusti käyttöönoton jälkeen käyttäjien palautteen ja käytössä havaittujen asioiden pohjalta. Halutut muutokset olivat joko esitettyjen arvojen sijoitteluun tai lukemataarkkuuteen liittyviä. Logiikan toiminnallisissa testeissä varmistettiin, että ohjelma pysyy laitteen flash-muistissa ja käynnistyy sieltä automaattisesti sähkökatkon sattuessa.

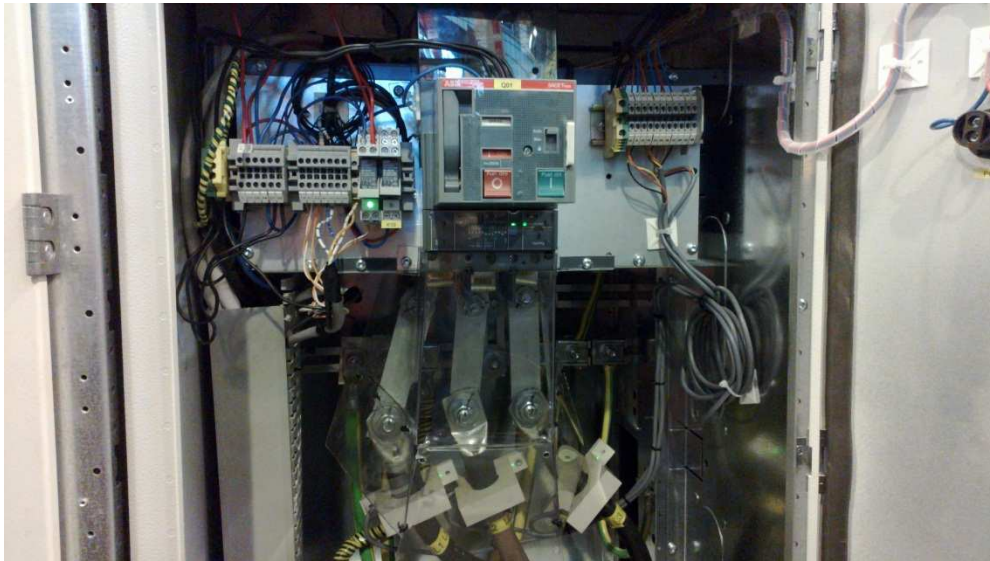
Ohjelmiston ja väylän testit toivat sen sijaan esille joitakin laitteistoon liittyviä puutteellisuuksia. DCS800:n päivityksen yhteydessä havaittiin, että väylä on erittäin herkkä runkoverkosta tehtyjen pistojen pituudelle (kuva 19). Jo 1,2 m pitkä pisto aiheutti heijastumia häiriten ja estäen koko väylän toiminnan. Piston lyhentäminen n. 90 cm:iin pituuteen poisti ongelman.



Kuva 19. RS-485 verkon perusrakenne

Vasta ohjelmiston testien yhteydessä tuli ilmi, että Sace Tmax -katkaisijoiden väylään raportoima virta-arvo oli rajoitettu minimissään arvoon  $0.1 \times I_n$ . Sace Tmax XT4 -katkaisijoiden nimellisvirralla  $I_n = 250$  tämä tarkoitti, että virtalukemia alle 25 A:n ei katkaisijalta saatu. Säättömuuntajan tapauksessa tämä oli paha takaisku, koska pienem-

millä moottoreilla virrat jäävät tyypillisesti alla 20 A:n. Ratkaisuna jouduttiin säätömuuntajakentän syöttökaapeleihin asentamaan virtamuuntajat (kuva 20), joista suoraan saatava 0 - 20 mA:n virtaviesti vietiin ohjauspulpettiin sijoitetuille paneelimittareille.



Kuva 20. Säättömuuntajakentän OK11 syöttöön lisätyt virtamuuntajat

## 5.9 Kuormitus

Viimeisimpänä käyttöönottotestinä suoritettiin moottoreiden kuormituksen testaus. Testausta varten piti kuormitettavan moottorin kiinnitys lattiaan sekä oikea linjaus varmistaa (kuva 21). Testissä kuormituskone pyörii vastapäivään ja testattava kone myötäpäivään. Moottorit ajetaan ensin samalle nopeudelle, minkä jälkeen kuormituskoneen nopeutta hieman pudotetaan ja tämän jälkeen momenttia kasvattamalla saadaan aikaan jarrutusvoima joka kuormittaa testattavaa moottoria. Katkaisijoiden sekä käyttöjen raportoimista virroista huomattiin, että kuormituskokeen aikana kentässä kiertää huomattavasti isompi teho mitä kenttää syöttävä katkaisija sallisi otettavan suoraan verkosta.



Kuva 21. DC-moottorin kuormituskoke valmiissa koestuskentässä

#### 5.10 Käyttöohjeet ja käytönopastus

Koestuskentän monimutkaisuus aikaisempaan verrattuna kasvoi huomattavasti taajuusmuuttajien ja lisääntyneen tietotekniikan myötä. Kentän käyttöä ja vikatilanteita varten laadittiin yksityiskohtainen ja selkeästi kuvitettu käyttöohje. Käyttöohjetta ei liitetä työn julkiseen versioon, koska se sisältää yrityksen sisäistä tietoa mittausten suorittamisesta. Uusia vikatilanteita tulee käytön myötä ilmaantumaan lisää, joten dokumenttia tulee päivittää tarpeen mukaan.

Koestuskentän käyttäjien tulee olla vaatimusten mukaan sähköalan ammattilaisia sekä virallisesti käyttäjiksi nimettyjä ja laitteistoon koulutettuja. Koulutuksessa käytiin läpi koestuskentän komponentit, ohjauskeskuksen, ohjauspulpetin sekä rasiakeskuksen rakenne ja toiminnot. Kentän turvajärjestelyt ja hätäpysäytysmekanismi käytin kokeellisesti läpi. Tämän jälkeen käytiin läpi kaikki kentän uudella laitteistolla tehtävät käyttötoimenpiteet seuraten käyttöohjetta ja kokeilemalla käytännössä kunkin laitteen toimintaa.

### 5.11 Kunnossapitosuunnitelma ja dokumentaatio

Koestuskentälle ja siihen kuuluvalla muuntamotilalle laadittiin huoltosuunnitelma, jossa listattiin eri laitteiden ja komponenttien huoltovälit sekä kulloinkin tehtävät toimenpiteet. Huoltosuunnitelmaa ei liitetä opinnäytetyön julkiseen versioon. Huoltosuunnitelma liitettiin osaksi koestuskentän dokumentaatiota ja sen toteutusten ja seurannan systemaattisuuden takaamiseksi tullaan toimenpiteet syöttämään osaksi SAP-järjestelmässä olevaan koko kiinteistön kunnossapito-ohjelmaa.

Suunnittelijan kanssa tarkastettujen muutuskuvien perusteella laaditut loppukuvat koottiin käyttökansioon muun koestuskenttään liittyvän materiaalin kanssa. Kansio sisälsi

- loppukuvat
- käyttöohjeen
- huolto-ohjelman
- vikavirtalaskelmat sekä katkaisijoiden asetteluarvot
- koestuskentän vaaratekijäluettelon SFS-EN 1050
- PLC ohjelmiston dokumentaation.

### 5.12 Varmennustarkastus

Koestuskenttä lukeutui osana muuta kiinteistöä 1b-luokan laitteistoksi eli sille riitti varmennustarkastuksen teko 3 kk:n sisällä laitteiston käyttöönotosta. Laiston varmennustarkastuksen suoritti valtuutettu tarkastaja Oululaisesta Primatest Oy:stä. Tarkastus meni läpi parilla pienellä huomautuksella.

## 6 POHDINTA JA YHTEENVETO

Työ oli kokonaisuutena erittäin laaja sekä ylitti insinööriyölle asetetun suositusrajan reilusti. Oppimisen kannalta kaikki eteen tulleet haasteet ja ongelmat olivat pelkästään positiivisia asioita. Laitteiston asennusvaiheessa kokeneen asentajan kanssa työskentely kartutti osaamista käytännön asennuksista ja ammattislangista todella paljon. Itsenäinen työskentely käyttöönottovaiheessa vaati moneen asiaan paneutumista ja selvittämistä kirjallisuudesta, mikä vahvisti koulussa opittua. Esimerkiksi ymmärrys katkaisijoista, turvajärjestelmistä ja taajuusmuuttajista avautui työn aikana aivan uudelle tasolle.

Sekä suunnittelu- että toteutusmielessä on vanhan saneeraus tai muuttaminen huomattavasti haastavampi tehtävä kuin alusta lähtien uuden suunnittelu ja rakentaminen. Vanhojen laitteiden dokumentaatio on joko hukassa tai puutteellista hankaloittaen suunnittelu- vaihetta melkoisesti. Vanhoista asennuksista ja laitteista löytyi rakennus- ja käyttöönottovaiheen aikana usein yllätyksiä, jotka muuttivat suunnitelmia ja vaikuttivat suoraan aikatauluun.

### 6.1 Omat havainnot

Koestuskentän uudistuksesta tuli kokonaisuudessaan toimiva ja hyvin pitkälti alkuperäiset tavoitteet täyttävä kokonaisuus. Tosin ainakin yhden insinööriyön verran olisi toimintojen hienosäädössä ja laajentamisessa vielä tehtävää. Loppukäyttäjät ovat olleet tyytyväisiä uuden koestuskentän toimintaan ja monipuolisuuteen, mutta digitaalisten laitteiden lisääntymisen myötä on käytöstä tullut vaativampaa ja monimutkaisempaa. Helppokäyttöisyyden vähentyminen onkin ollut yksi käyttäjien antama negatiivinen palaute. Tämä tosin laimenee ajan myötä, kun uusien järjestelmien oppimisprosessi on edennyt riittävän pitkälle. Kunnollisen ja enemmän kuin kerran annetun perinpohjaisen käyttökoulutuksen antaminen korostuu tässä asiassa.

Ohjelmiston ja erityisesti käyttöliittymän osalta toteutukseen tuli muutoksia pitkin käyttöönottovaihetta ja vielä koulutuksenkin aikana. Projekteissa tulisi aina varautua siihen, että loppukäyttäjiltä tulee aina muutosehdotuksia toteutettuun toiminnallisuuteen vasta konkreettisen käytön aikana. Hyvän kehitysympäristön ansiosta on tarvittavien muutos-

ten teko ohjelmistoon ja käyttöliittymään helppoa koestuskentän käyttövaiheenkin aikana.

## 6.2 Jatkokehityskohteet

Työn alussa ulos rajatuista osa-alueista selkein jatkokehityskohde on PLC-ohjelmiston toimintojen lisääminen. Mittaustietojen siirtäminen automaattisesti tai operaattorin valinnan mukaisesti suoraan SAP-järjestelmässä olevaan testiraporttiin olisi jo sinällään oman insinööriyön kokoinen tehtävä. Vaihekohtaisten virtojen tarkkaa mittaamista varten tulisi taajuusmuuttajien lähtöihin asentaa virtamuuntajat sekä mittamuuntimet, joista milliampeeriviesti tuotaisiin logiikalle. Viestien vastaanottoa varten tulisi AC500:lle lisätä analogiaviestikortti.

Uudessa muuntamohuoneessa sijaitsevaa nostomuuntajaa sekä säätömuuntajaa syötetään suoraan sähköpääkeskuksen kennoista kytkinvarokelähtöjen kautta. Koska muuntajien syöttöpuolella ei ole mitään ohjattavaa kytkinlaitteita, kuten kontaktoria, ovat muuntajat jatkuvasti jännitteisiä. Tyhjäkäyntihäviöt lämmittävät muuntamotilaa turhaan sekä tuhlaavat energiaa. Muuntajien tyhjäkäyntihäviöt ovat yhteensä noin 1,7 kW:n luokkaa, mikä on vuositasolla n. 14 900 kWh. Kytkinvarokkeet kannattaisi jatkossa korvata moottoriohjaimella varustetulla kompaktikatkaisijalla. Tällöin niiden etäohjaus ohjauspulpetilta olisi mahdollista. Nykyiset OESA2-kytkinvarokkeet ovat maksimissaan 400 A:n kahvasulakkeille. Esimerkiksi Tmax T5 -kompaktikatkaisijalla  $I_n=630A$  saataisiin 400V/690V:n nostomuuntajalle suurempi virta, mikä sallisi suurempien tehojen käytön koestuskentän taajuusmuuttajilla.

Taajuusmuuttajien moottoriparametrien kirjoittaminen HMI-näytön ja PLC:n kassa ei onnistu käytössä olevalla vakio-ohjelmistolla, joka ei salli kirjoittamista parametriryhmään 99. Lisäksi laitteelle väylän kautta kirjoitettavien parametripaikkojen määrä dataset-määrittelyssä on rajoitettu kolmeen. Ratkaisuna tähän voisi olla erikoissovelluksin tarkoitetun systeemiohjelmiston päivittäminen taajuusmuuttajille.

Laitteiston käytönaikaiset vaikutukset kiinteistön sähkönlaatuun olisi hyvä tarkistaa mittaamalla. Harmonisten yliaaltojen tasot sekä verkossa liikkuva loisvirta olisi hyvä tarkista ohjauskeskukselta, jakokeskukselta sekä kiinteistön sähköpääkeskukselta. Taa-

juusmuuttajakäyttöjen etuna on, että ne eivät generoi loisvirtaa verkkoon ja haittana taas yliaaltojen muodostuminen.

Kokonaisuudessaan työ onnistui todella hyvin ja kaikki työlle asetettu toiminnallisuus saavutettiin. Aikataulussa tuli parin kuukauden viive johtuen koestuskentän päivittäisen käytön aiheuttamasta hidastavasta tekijästä sekä useista käyttöönottovaiheessa toteutuksen aikana tulleista muutoksista.

## LÄHTEET

ABB Oy 2014. ABB Service. Hakupäivä 28.2.2014.

<<http://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa/yksikot/service>>

ABB Oy 2014. ABB Suomessa. Hakupäivä 28.2.2014.

<<http://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa>>

ABB Oy 2009. Bus communication with ABB circuit-breakers.

ABB Oy 2013. DCS800-R Upgrade Kits.

ABB Oy 2013. Laiteopas ACS-800-taajuusmuuttajat.

ABB Oy 2014. Ohjelmoitavat logiikat PLC. Hakupäivä 11.3.2014.

<<http://www.abb.com/product/fi/9AAC100143.aspx?country=FI>>

ABB Oy 2008. Tmax-pienjännitekatkaisijat.

D1-2012 2012. Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. 19., uudistettu painos Espoo: Painokurki Oy.

Etto, Jaakko 1998. Kunnossapito-koulu 47. Kunnossapitolehti 1998, nro 6.

Konttinen, Juha 2008. Vaihtosähkökoneen huolto ja koestus. Lopputyö. Tampereen AMK, Tampere.

KTMp 1996/517 1996. Päätös sähkölaitteiden käytöstä ja käyttöönotosta. Kauppa- ja teollisuusministeriö.

Piikkilä, Veijo & toivo, Sahlsten 2006. ST-käsikirja 21, Kiinteistöjen tiedonsiirtoväylät. Tampere: Tammer-Paino Oy.

PSK-1801 2000. Prosessiteollisuuden jakokeskukset. PSK Standardisointi ry.

PSK-2920 2010. Sähköistyksen käyttöönottotarkastus. PSK Standardisointiyhdistys ry.

Saastamoinen, Arto & Saarelainen, Kimmo 2012. ST-käsikirja 33, Rakennusten sähköasennusten tarkastukset. 2., uudistettu painos. Tampere: Tammer-paino Oy.

Seppänen, Jarmo 2014. Sähkömoottoreiden koestuskentän suunnittelu. Lopputyö. Kemi-Tornio AMK, Kemi.

SFS-EN-50191 2011. Sähköisten testauslaitteistojen asennus ja käyttö. Suomen standardoimisliitto SFS.

Sillanpää, Marko 2010. Sähkömoottoreiden koestuspaikan modernisointi. Lopputyö. Vaasan ammattikorkeakoulu, Vaasa.

Tukes 2012. Tukes-ohje S10-2012. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto.



## LIITTEET

- Liite 1. Koestuskentän layout
- Liite 2. Ohjauskeskuksen OK13 käyttöönottotarkistuspöytäkirja
- Liite 3. ACS800-07 Adaptiivinen ohjelma
- Liite 4. Taajuusmuuttajan käyttöönottopöytäkirja
- Liite 5. Eristysvastusmittauspöytäkirja
- Liite 6. Muuntajan käyttöönottopöytäkirja

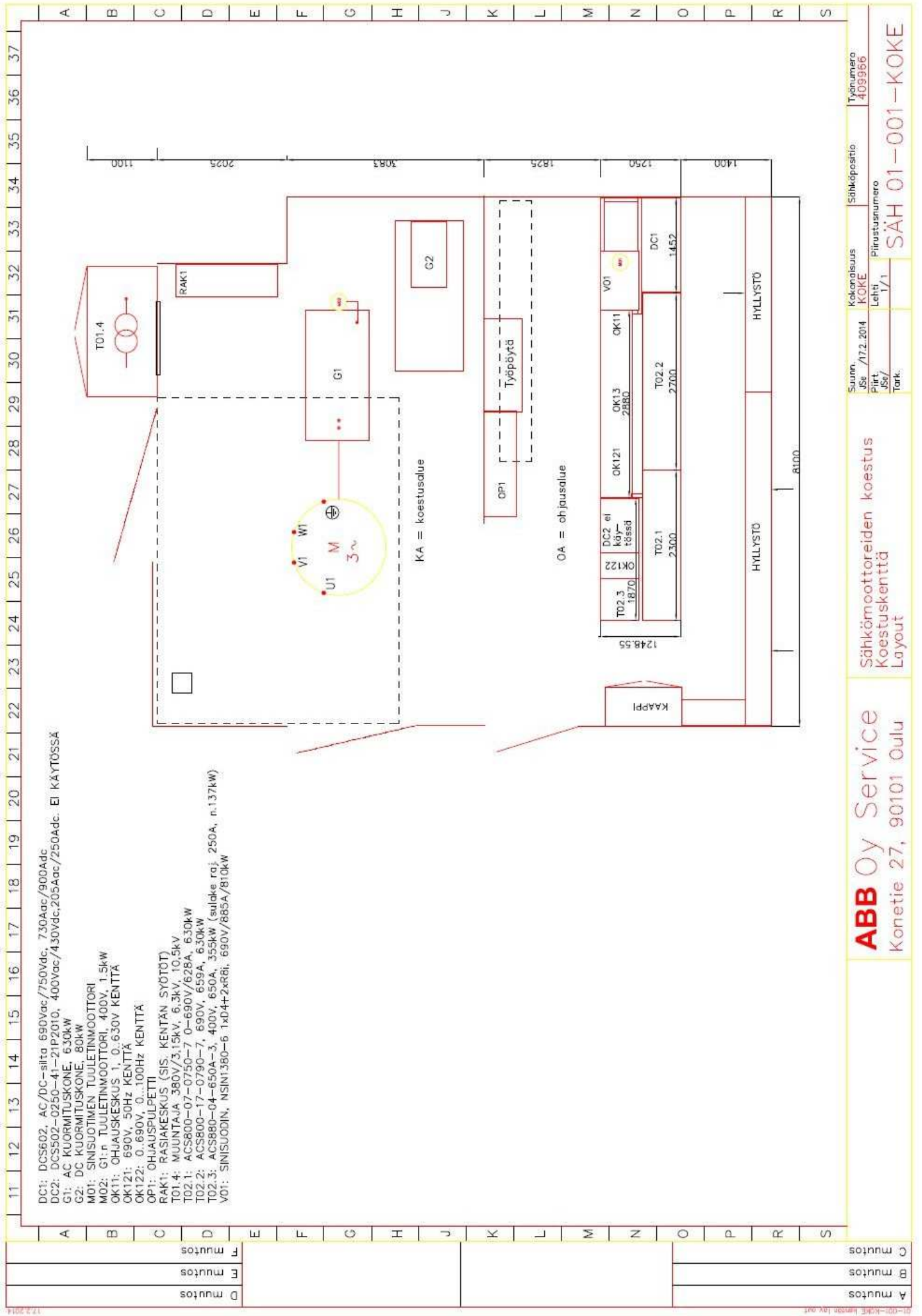


ABB Oy  
Service  
Pohjois-Suomen alue



PÖYTÄKIRJA  
Keskuksen käyttöönotto  
1(1)

## 1. KOHDE

Tehdas ABB Service Oulu Osasto \_\_\_\_\_ Keskuspositio OK13  
Kohde Koestuskeskus  
Nimellisjännite 400 V I term 10 kA I dyn 34,1 kA  
Nimellisvirta 250 A kommentit \_\_\_\_\_

## 2. TARKASTUKSEN PERUSTE

☒ Uusi asennus ☐ Muutos ☐ Korjaus  
☒ Käyttöönottotarkastus ☐ Varmennustarkastus

## 3. SILMÄMÄÄRÄINEN TARKASTUS

(+ = kunnossa, - = huomautettavaa, 0 = ei kuulu tarkastukseen)

### 3.1 Liittymisjohto

☒ asennus Hylly/putki laji MCMK poikkipinta 3x185/95 Syötön sulake 250 A

### 3.2 Pääpotentiaalitin tasaus

+ PE / PEN-kisko 0 maad.johdin 0 vesiputket 0 ilmanvaihtokanavat  
0 betonirauditus 0 antennimaadoitus 0 puhelinmaadoitus 0 ukkossuojus

### 3.3 Pääkeskus

+ sijoitus + rakenne 0 erotusmahd. + merkinnät  
+ asennus 0 sulake / varoke X A / X A

### 3.4 Loppupiirustukset

+ keskuskaaviot + johdotuskuvat + käyttöohjeet ja käytönopastus

## 4. KESKUSKOHTAISET MITTAUKSET

### 4.1 Suoja- ja potentiaalitasausjohtimien jatkuvuus, korjauskertoimen mitatulle arvolle x 1,3/2

☒ Jatkuvuus todettu mittaamalla kaikista ryhmistä, mittaus apujohdinta/vaihejohdinta apuna käyttäen 0,03 Ω mitt. Tavoite < 1 Ω

### 4.2 Eristysresistanssi (tarvittaessa erillinen liite), korjauskertoimen mitatulle arvolle x 0,7

Koko keskuksen mitattu eristysresistanssi >500 M

### 4.3 Syötön automaattisen poistokytkennän toteuttaminen, korjauskertoimen mitatulle arvolle x 0,77

☐ Todettu mittaamalla ☒ Todettu suunnitelmista

## 5. TARKASTUKSEN TULOS

Turvallisuustaso saavutettu ☒ Määräysten ☒ Tukes-ohje S10-2012:a mukaisesti.  
Korjauskehoitus annettu ☐ Päivämäärä, johon mennessä havaitut puutteet on korjattava:

## 6. HUOMAUTUKSET / PUUTTEET

Korjattu Tarkasti


## 7. KÄYTETYT MITTALAITTEET

Laite	Valmistaja	Tyyppi	Laitenro
Yleistesteri	Fluke	1653B	
Eristysvastus			
Yleismittari			

## 8. TARKASTUKSEN LIITTEET

3 kpl

Kaapeleiden eristysresistanssien mittauspöytäkirjat

## 9. TARKASTUKSEN VARMENNUS

Esko Törmäkangas

19.12.2013

Suorittaja

Pvm.

Allekirjoitus

Kalevi Holappa

19.12.2013

Hyväksyjä

Pvm.

Allekirjoitus

ABB Oy  
Service  
Pohjois-Suomen Alue



PÖYTÄKIRJA  
Kaapelit ja kojeet  
1(1)

## 1. KOHDE

Tehdas ABB oy Osasto Service, Oulu Kytettävä kone nro \_\_\_\_\_  
Sähköposit OK13 Konepositio \_\_\_\_\_ Irrotettava kone nro \_\_\_\_\_  
Käytön nimitys \_\_\_\_\_  
Jännite 400 V Teho \_\_\_\_\_ kW rpm \_\_\_\_\_ Virta \_\_\_\_\_ A min

## 2. TARKASTUKSEN PERUSTE

☒ Uusi asennus ☐ Muutos ☐ Korjaus  
☒ Käyttöönottotarkastus ☐ Varmennustarkastus

## 3. SILMÄMÄÄRÄINEN TARKASTUS

(+ = kunnossa - = huomautettavaa 0 = ei kuulu tarkastukseen)

3.1 Ryhmäjohdot + asennus + poikkipinnat + merkinnät + liittäminen keskuskeskseen  
3.2 Pistorasiat / Valaisimet + asennus + sijoitus + rakenne + johtimien liitokset  
3.3 Turvakytkin / muut kojeet 0 keskuskaaviot + johdotuskuvat 0 käyttöohjeet ja käytönopastus

## 4. RYHMÄJOHTOKOHTAISET MITTAUKSET

### 4.1 Suoja- ja potentiaalitasausjohtimien jatkuvuus, korjauskerroin mitatulle arvolle x 1,3/2

☒ Jatkuvuus todettu mittaamalla kaikista ryhmistä, mittaus vaihejohtinta apuna käyttäen

Suurin mitattu arvo 0,18 Ω mitt. Tavoite < 1 Ω

### 4.2 Eristysresistanssi (tarvittaessa erillinen liite), korjauskerroin mitatulle arvolle x 0,7

Ryhmän nro	Eristysresistanssi / mitattu	Ryhmän nro	Eristysresistanssi / mitattu
F1.3	>500 MΩ	F1.4	>500 MΩ

### 4.3 Syötön automaattisen poistokytkennän toteuttaminen, korjauskerroin mitatulle arvolle x 0,77

☒ Todettu mittaamalla ☐ Todettu suunnitelmista

Pienin oikosulkuvirta erikseen mitatuista ryhmistä (tarvittaessa erillinen liite) L-PE

	Lkmin / A	Ri / Ω	U / V / mitt.	Ryhmä nro/sulake	Lkmin / A	Ri / Ω	U / V / mitt.
-VR35 C16A F1.3	596 A	0,39	230	-VR36 C16A F1.4	578	0,4	230
-VR37 C16A F1.4	564	0,41	230	-VR38 C16A F1.4	565	0,41	230

### 4.4 Vikavirtasuojakytkimen toimintavista (tarvittaessa erillinen liite), korjauskerroin mitatulle arvolle x 1,1

Tunniste	Nimellisarvo In / I Δ n	Mitattu laukaisuvirta	I Δ/ue, lauk.aika/ms	Kosk.jännite / Ub
B07	25/003 A	18mA	25,2ms	
B08	25/003 A	21mA	26,5ms	

### 4.5 Mittaukseen liittyviä liitteitä - kpl

### 4.6 Käytetyt mittalaitteet

Laite	Valmistaja	Tyyppi	Laitenro
Yleistesteri	Fluke	1653B	
Eristysvastus			
Yleismittari			

## 5. TARKASTUKSEN TULOS Turvallisuustaso saavutettu ☒ Tukes-ohje S10-2012:a mukaisesti.

Korjauskehoitus annettu ☐ Aika, johon mennessä havaitut puutteet korjattava:

## 6. HUOMAUTUKSET / PUUTTEET

Korjattu Tarkasti


## 7. TARKASTUKSEN LIITTEET kpl

## 8. TARKASTUKSEN VARMENNUS

Esko Törmäkangas

19.12.2013

Suorittaja

Pvm.

Allekirjoitus

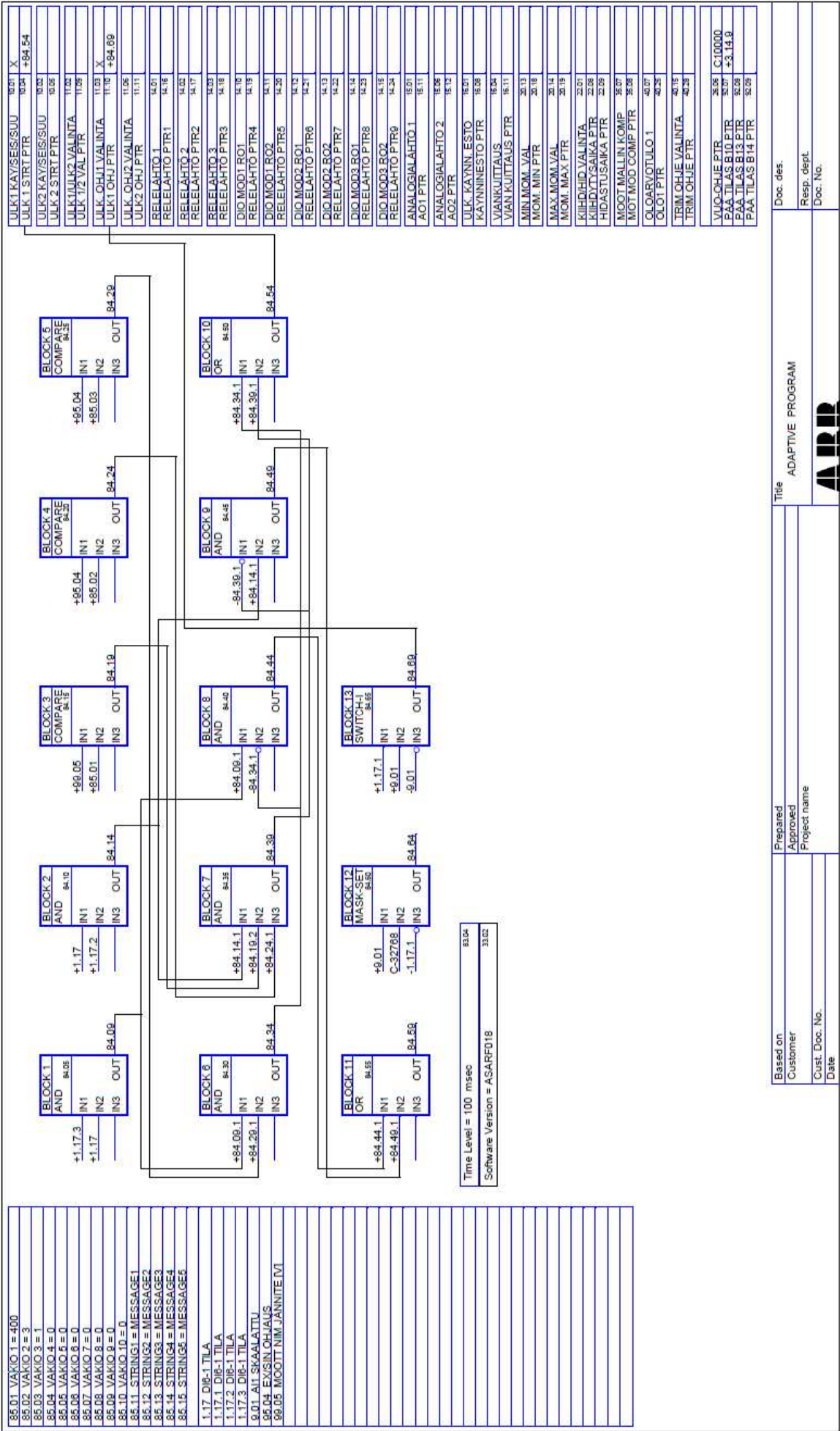
Kalevi Holappa

19.12.2013

Hyväksyjä

Pvm.

Allekirjoitus







## AC DRIVE COMMISSIONING REPORT (ACS800, ACS600)

Date of commissioning: (yyyy-mm-dd) 2013-10-30		Type of drive: ACS800-07-0750-7	
Serial number: 1131704472		Single or Multidrive: Single	
Sales ID: _____		Software: AS7R7365 / ASARF018	
Equipment position at site: KOKE		Control board: RMIO-1X	
Equipment ID by customer: T02.1		Options: F253+F260+H359+K458+L501+Q964+V992	
Motor data: Type: _____		Serial number: _____	
Ph = _____		In = _____	
Un = _____		Rpm = _____	
Cos = _____		Cos = _____	
End customer name: ABB Service Oulu		Contact Person: Kalle Rantala	
Street address: Koneitie 27		City: Oulu	
Postal code: 90620		Country: Finland	
E-mail/telefax: _____		Tel: _____	
Customer name: _____		Contact Person: _____	
Street address: _____		City: _____	
Postal code: _____		Country: _____	
E-mail/telefax: _____		Tel: _____	
Commissioning engineer: Esko Törmäkangas		Organization: ABB Service	
Street address: _____		City: _____	
Postal code: _____		Country: _____	
E-mail/telefax: esko.tormakangas@gmail.com		Tel: 040-5489779	
Work order number: _____			
<b>0. ENVIRONMENT</b>			
0.1. Risk level of corrosive gases			LOW
0.2. Tidiness of environment			DUSTY
0.3. Risk level of condensation			LOW
0.4. How often is the place cleaned?			MONTHLY
0.5. Temperature			Max. 24,0 Min. 18,0 OK
0.6. Electrical room			NO
0.7. Air conditioning with cooling			NO
0.8. Mechanical Installation Inspection			OK
0.9. EMC Plan			NOT APPLICABLE
0.10. EMC - Filters			NOT APPLICABLE
<b>1. COMMISSIONING OFF LINE</b>			
1.1. Product found faultless in the beginning of commissioning			YES
1.2. Grounding			OK
1.3. Supply Voltage Level			OK
1.4. Phase Sequence			OK
1.5. Fuses			OK
1.6. Protection and Interlocking			OK
Supply Connection and Cabling (when MD Supply Unit)			
1.7. Motor Connection and Cabling			OK
1.8. Insulation Resistance			Mohm SEE NOTES
1.9. Auxiliary Transformer Connection			OK
Control Cabling and Connection to PLC			NOT APPLICABLE
1.10. Control Cable Interference Protection			OK
1.11. Pulse Encoder Connection			NOT APPLICABLE
1.12. Internal Cabling			OK
1.13. Options			OK
<b>2. COMMISSIONING ON LINE</b>			
2.1. Cooling Fan Rotating Direction			OK
2.2. I/O -Connections			OK
2.3. START-UP Parameters ( Group 99 )			OK
2.4. ID -Run			SEE NOTES
2.5. Test run			OK
Test of Charging (separate supply units)			
Control from PLC			
2.6. Commissioning finished without any problems			SEE NOTES
<b>3. BACK-UP</b>			
3.1. Parameters Loading to Control Panel			NOT APPLICABLE
3.2. Reset of Fault Buffer			NOT APPLICABLE
3.3. Back-up Copy			NOT APPLICABLE
<b>4. CUSTOMER TRAINING</b>			
4.1. Safety issues			YES
4.2. Normal use (control panel)			YES
4.3. Basics of troubleshooting			YES
4.4. Maintenance			YES

ABB Oy  
Service

ERISTYSVASTUS-  
MITTAUSPÖYTÄKIRJA

Asiakas ABB Oy, Service Oulu, Konetie 27

Laitos koestuskentän modernisaatio

Kojeisto OK11

Kojeisto/kaapeli	OK11/ OK11-W04		MCMK3x185/95		Mittausjännite	
Vaiheiden välinen					1000	V
L1-	L2		>1000	M Ω		
L1-	L3		>1000	M Ω	min	
L2-	L3		>1000	M Ω		
Maata vastaan						
L1-	⊥		>1000	M Ω		
L1-	⊥		>1000	M Ω		
L2-	⊥		>1000	M Ω		
N	⊥					
Kojeisto/kaapeli	OK11 / VR11-W01		MCMK4x2,5+2,5		Mittausjännite	
Vaiheiden välinen					1000	V
L1-	L2		>1000	M Ω		
L1-	L3		>1000	M Ω	min	
L2-	L3		>1000	M Ω		
Maata vastaan						
L1-	⊥		>1000	M Ω		
L2-	⊥		>1000	M Ω		
L3-	⊥		>1000	M Ω		
N	⊥					
Kojeisto/kaapeli	OK11 / VR12-W01		MCMK3x16/16		Mittausjännite	
Vaiheiden välinen					1000	V
L1-	L2		>1000	M Ω		
L1-	L3		>1000	M Ω		
L2-	L3		>1000	M Ω		
Maata vastaan						
L1-	⊥		>1000	M Ω		
L2-	⊥		>1000	M Ω		
L3-	⊥		>1000	M Ω		
N	⊥					
Kojeisto/kaapeli	OK11 / VR13-W01		MCMK3x120/70		Mittausjännite	
Vaiheiden välinen					1000	V
L1-	L2		>1000	M Ω		
L1-	L3		>1000	M Ω		
L2-	L3		>1000	M Ω		
Maata vastaan						
L1-	⊥		>1000	M Ω		
L2-	⊥		>1000	M Ω		
L3-	⊥		>1000	M Ω		
N	⊥					

Koestuksessa käytetyt mittalaitteet: Fluke 1653B

Pvm 10.10.2013

Koestaja Esko Törmäkangas



# JAKELUMUUNTAJAT JA MUUNTAMOT ASENNUSTARKASTUSPÖYTÄKIRJA

Työnro:

Laatija: E. Törmäkangas

Yksikkö: ABB Service, Oulu

Projekti: Koekenttä

PVM. 16.12.2013

Muunt. tunnus: T01.4

Kohde: Koekentän nostomuuntaja 380V/3kV/6kV/10kV

		kunnossa on ei ei koske	Huom.	Korjattu PVM/ NMI
1.1	Muuntajan kilpiarvot oikeat	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
1.2	Kotelointiluokka	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
1.3	Varustus tekn. erittelyn mukainen	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
1.4	Merkinnät, maalaus	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
1.5	Toimitukseen kuuluvat dokumentit	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>		
1.6	Tehdyt koestukset	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
1.7	Öljyanalyysin tulokset	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>		
2.1	Kuljetusvauriot	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
2.2	Asennus paikoilleen, kiinnitys	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
2.3	Kosketussuojaus	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
2.4	Maadoitukset	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
2.5	Maadoitusmerkinnät	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
2.6	Kiskoliitokset	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
2.7	Kaasurele, lämpötilan mittaus	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>		
2.8	Käämikytkimen toiminta, asennonosoitin	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>		
2.9	Väliottokytkin	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>		
2.10	Öljyn pinnankorkeus ja sen osoitus	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
2.11	Öljyvuodot	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
2.12	Jäähdytys	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
2.13	Apulaitteiden kotelot	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>		
3.1	Ovien lukitus, puomi	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
3.2	Ohjeet ja varoituskilvet	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
3.3	Käyttömaadoitus	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
3.4	Vaihejärjestys	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
3.5	Eristysresistanssi >500 MΩ	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Fluke 1653B	
3.6	Läpivientien tiivistys	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>		
3.7	LVI-laitteiden huoltomahdollisuus	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>		
		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		





# JAKELUMUUNTAJAT JA MUUNTAMOT ASENNUSTARKASTUSPÖYTÄKIRJA

		kunnossa on ei ei koske	Huom.	Korjattu PVM/ NIMI
		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		

Huomautuksia ja muistiinpanoja:

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Muuntamo on hyväksytty käyttöön

Päiväys: 19.12.2013

Tarkastaja: Esko Törmäkangas / Kalevi Holappa

Sähkölaitteiston haltija: ABB Oy, Service, Konetie 27, Oulu